



**Ana Cláudia Relvas
Vieira Dias**

**Avaliação do contributo do sector florestal para as
alterações climáticas**



**Ana Cláudia Relvas
Vieira Dias**

**Avaliação do contributo do sector florestal para as
alterações climáticas**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente, realizada sob a orientação científica do Doutor Luís Manuel Guerreiro Alves Arroja, Professor Associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e a co-orientação da Doutora Maria Isabel Aparício Paulo Fernandes Capela, Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Apoio financeiro do POCTI no âmbito
do III Quadro Comunitário de Apoio.

Apoio financeiro da FCT e do FSE no
âmbito do III Quadro Comunitário de
Apoio.

o júri

presidente

Prof. Doutor José Abrunheiro da Silva Cavaleiro
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Manuel Dias Santos Pereira
Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Prof. Doutora Maria Margarida Branco de Brito Tavares Tomé
Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Prof. Doutor Carlos Alberto Diogo Soares Borrego
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Celeste de Oliveira Alves Coelho
Professora Catedrática da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Maria Isabel Aparício Paulo Fernandes Capela
Professora Associada da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Luís Manuel Guerreiro Alves Arroja
Professor Associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Maria Júlia Fonseca Seixas
Professora Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

agradecimentos

Começo por manifestar a minha gratidão para com o Professor Doutor Luís Arroja e a Professora Doutora Isabel Capela pela orientação deste trabalho, pelos ensinamentos transmitidos e pela amizade demonstrada ao longo destes últimos anos.

Quero agradecer ao RAIZ - Instituto de Investigação da Floresta e Papel, nas pessoas dos seus directores, Engenheiro Serafim Tavares, Engenheiro Luís Amaral e Engenheira Leonor Guedes, o acolhimento caloroso e os meios colocados à minha disposição, bem como a cedência de dados essenciais para o estabelecimento do balanço de carbono na floresta de eucalipto. Ao Engenheiro Serafim Tavares agradeço ainda a sua contribuição para a definição da metodologia de cálculo dos balanços de carbono na floresta e no processamento industrial da madeira, assim como os valiosos ensinamentos, comentários e sugestões. Estendo o meu agradecimento aos restantes colaboradores do RAIZ pela forma simpática e amiga como me receberam. Agradeço às seguintes entidades que gentilmente disponibilizaram informação imprescindível para a realização deste trabalho: AIMMP, Celbi, Celpa, Centro Pinus, Companhia de Celulose do Caima, Companhia de Papel do Prado, Direcção-Geral dos Recursos Florestais, Grupo Portucel Soporcel, Jomar, Portucel Tejo, Portucel Viana, Renova, Sonae Indústria e Unimadeiras. À Engenheira Margarida Louro agradeço a ajuda prestada nos cálculos associados à análise de incerteza, bem como o apoio incondicional e a amizade manifestados.

Agradeço ao Professor Doutor Batel Anjo pelas opiniões, sugestões e apoio na revisão do texto, no que respeita aos aspectos ligados à análise de incerteza. Agradeço à Professora Doutora Margarida Tomé e ao Professor Doutor João Santos Pereira pela troca de impressões e cedência de bibliografia numa fase inicial do trabalho. Ao Professor Doutor João Santos Pereira agradeço ainda a oportunidade que me concedeu de passar uma semana no Instituto Superior de Agronomia.

À Engenheira Alexandra Correia agradeço o frutuoso intercâmbio de ideias e de informação ao longo da realização deste trabalho.

Desejo também expressar o meu profundo agradecimento à minha família pelo apoio e incentivo dados ao longo dos últimos anos.

Por último, agradeço à Fundação para a Ciência e a Tecnologia a concessão da Bolsa de Doutoramento SFRH/BD/1084/2000.

palavras-chave

Alterações climáticas, gases com efeito de estufa, sector florestal, eucalipto, pinheiro bravo.

resumo

Na presente tese é avaliada a contribuição do sector florestal português, associado às fileiras do eucalipto e do pinheiro bravo, para o fenómeno das alterações climáticas. Nesse sentido, são quantificadas as emissões e as remoções de dióxido de carbono e metano, desde a floresta até ao destino final dos produtos florestais, incluindo o processamento industrial da madeira. Para o efeito, foram desenvolvidas metodologias de cálculo que têm em conta as especificidades destes sectores florestais em Portugal. Numa óptica mais abrangente, é igualmente efectuada a quantificação do carbono acumulado na totalidade dos produtos florestais produzidos a partir de madeira nacional e dos produtos florestais consumidos em Portugal, utilizando as três abordagens que estão actualmente em análise no seio da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas, com vista à selecção da abordagem a incluir futuramente nos inventários nacionais de emissões de gases com efeito de estufa (*stock-change approach*, *atmospheric-flow approach* e *production approach*). Estas abordagens diferem no modo como as remoções ou emissões de carbono associadas à floresta e aos produtos florestais são repartidas entre países produtores e consumidores de madeira e de produtos florestais. A contabilização do carbono acumulado nos produtos florestais foi efectuada por aplicação de três métodos, sendo dois já existentes e um desenvolvido no âmbito do presente estudo. O balanço global de carbono obtido para os sectores do eucalipto e do pinheiro bravo, no ano 2000, foi de uma remoção líquida de carbono, cuja magnitude dependeu da abordagem considerada, tendo variado entre 401 e 1033 Gg C_{eq} ano⁻¹ no sector do eucalipto e entre 40 e 447 Gg C_{eq} ano⁻¹ no sector do pinheiro bravo (os valores mais elevados dizem respeito à *atmospheric-flow approach*). No sector do eucalipto, a floresta desempenhou um papel preponderante na acumulação de carbono, enquanto no sector do pinheiro bravo, os produtos florestais foram mais importantes que a floresta. Independentemente da abordagem e do método de cálculo considerados, os produtos florestais totais contribuíram para a remoção de carbono em Portugal, no período compreendido entre os anos 1990 e 2000. A *atmospheric-flow approach* foi a abordagem que originou valores de remoção de carbono mais favoráveis para Portugal e o método de cálculo da remoção de carbono nos produtos florestais desenvolvido no presente estudo foi aquele em que a incerteza associada aos resultados foi menor.

keywords

Climate change, greenhouse gases, forest sector, eucalypt, maritime pine.

abstract

In this thesis it is assessed the contribution of the Portuguese eucalypt and maritime pine forest sectors to climate change. The emissions and removals of carbon dioxide and methane are accounted, from the forest to the final disposal of the forest products, including industrial processing of wood. For this purpose, accounting methodologies were developed, taking into account the particularities of these forest sectors in Portugal.

In a broader perspective, carbon accumulation in the totality of forest products produced from domestically-grown wood and in the totality of forest products consumed in Portugal is accounted, using the three approaches that are under discussion within the United Nations Framework Convention on Climate Change, in order to select the approach to include, in the future, in the national greenhouse gas emission inventory (*stock-change approach*, *atmospheric-flow approach* and *production approach*). These approaches differ in the way carbon removals or emissions associated with wood and forest products are allocated between producing and consuming countries. Carbon accounting in forest products was performed using three methods, two already existing and a method developed in this study.

The total carbon balance in the eucalypt and maritime pine sectors in year 2000 was a net removal of carbon, whose magnitude varied with the approach considered, ranging from 401 to 1033 Gg C_{eq} year⁻¹ in the eucalypt sector, and from 40 to 447 Gg C_{eq} year⁻¹ in the maritime pine sector (higher values correspond to the *atmospheric-flow approach*). Forest played a major role in carbon accumulation in the eucalypt sector, while the forest products were more important than forest in the maritime pine sector.

Regardless of the approach and the accounting method used, forest products were net sinks of carbon in Portugal, in the period between 1990 and 2000.

The *atmospheric-flow approach* originated the highest values of carbon removal for Portugal and the results obtained with the method for carbon accounting in forest products developed in this study are the least uncertain.

Índice

Agradecimentos
Palavras-chave / Resumo
Keywords / Abstract
Índice
Lista de figuras
Lista de tabelas
Símbolos e abreviaturas

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objectivos	3
1.3. Organização da tese	4
2. O sector florestal e as alterações climáticas	5
2.1. O aquecimento global	5
2.2. Fontes antropogénicas de GEEs	6
2.3. As respostas da comunidade internacional face ao aquecimento global	7
2.4. As emissões e remoções de GEEs no sector florestal	9
2.4.1. No âmbito geral	9
2.4.2. No âmbito do Protocolo de Quioto	12
2.5. Balanço de carbono na floresta	14
2.5.1. Importância das florestas ao nível global	14
2.5.2. Métodos de cálculo do balanço de carbono na floresta	16
2.5.2.1. Inventários florestais	16
2.5.2.2. Medição de fluxos	17
2.5.2.3. Modelação inversa	17
2.5.2.4. Detecção remota	18
2.5.2.5. Modelos	19
2.5.2.6. Monitorização intensiva	19
2.6. Balanço de carbono nos produtos florestais	20
2.6.1. Importância dos produtos florestais ao nível global	20
2.6.2. Métodos de cálculo do balanço de carbono nos produtos florestais	21
2.6.2.1. Métodos <i>inflow-outflow</i>	21
2.6.2.1.1. Método baseado nos tempos de vida	22
2.6.2.1.1.1. Descrição do método	22
2.6.2.1.1.2. Factores que afectam os tempos de vida dos produtos florestais	25
2.6.2.1.2. Método baseado na observação directa	30
2.6.2.2. Método de estimativa directa dos <i>stocks</i>	30
2.6.2.3. Método de estimativa directa das emissões	32
2.7. Análise de incerteza	33
3. Balanço de carbono na floresta de eucalipto e de pinheiro bravo	37
3.1. Introdução	37
3.1.1. A floresta portuguesa de eucalipto e de pinheiro bravo	37

3.1.2. Balanços de carbono efectuados para a floresta portuguesa de eucalipto e de pinheiro bravo	39
3.1.3. Objectivo	43
3.2. Metodologia	43
3.2.1. Floresta de eucalipto	44
3.2.2. Floresta de pinheiro bravo	48
3.2.3. Análise de sensibilidade	50
3.2.4. Análise de incerteza	51
3.3. Resultados	55
3.3.1. Floresta de eucalipto	55
3.3.2. Floresta de pinheiro bravo	59
3.4. Discussão	60
3.5. Conclusões	63
4. Emissões de CO₂ de origem fóssil na floresta de eucalipto e de pinheiro bravo	65
4.1. Introdução	65
4.1.1. Operações realizadas no âmbito da gestão florestal	65
4.1.1.1. Preparação do terreno	66
4.1.1.2. Instalação dos povoamentos florestais	69
4.1.1.3. Condução dos povoamentos florestais	70
4.1.1.4. Exploração florestal	72
4.1.1.5. Estabelecimento da rede viária e divisional	74
4.1.2. Emissões de CO ₂ associadas às operações florestais	74
4.1.3. Objectivo	77
4.2. Metodologia	78
4.2.1. Emissões específicas de carbono	78
4.2.2. Emissões anuais de carbono	82
4.2.3. Análise de sensibilidade	88
4.2.3.1. Instalação dos povoamentos de pinheiro bravo	89
4.2.3.2. Controlo da vegetação espontânea	89
4.2.3.3. Mobilização do solo	90
4.2.3.4. Exploração florestal	90
4.2.4. Análise de incerteza	91
4.3. Resultados	93
4.3.1. Emissões específicas de carbono	94
4.3.2. Emissões anuais de carbono	96
4.3.3. Análise de sensibilidade	100
4.3.3.1. Instalação dos povoamentos de pinheiro bravo	100
4.3.3.2. Controlo da vegetação espontânea	100
4.3.3.3. Mobilização do solo	101
4.3.3.4. Exploração florestal	102
4.4. Discussão	103
4.5. Conclusões	106
5. Emissões de gases com efeito de estufa no processamento industrial da madeira de eucalipto e de pinheiro bravo	109
5.1. Introdução	109
5.1.1. A indústria de transformação da madeira em Portugal	109
5.1.2. As fontes de emissão de GEEs na indústria de transformação da madeira	111
5.1.3. Metodologias de quantificação das emissões de GEEs na indústria de transformação da madeira	112
5.1.3.1. Emissões de CO ₂ decorrentes da queima	112
5.1.3.2. Emissões de CO ₂ e CH ₄ decorrentes da decomposição de efluentes e de resíduos	113
5.1.4. Objectivo	114

5.2. Metodologia	114
5.2.1. Emissões de carbono de origem renovável	115
5.2.1.1. Produção de papel	115
5.2.1.2. Produção de madeira serrada	118
5.2.1.3. Produção de painéis	120
5.2.2. Emissões de carbono de origem fóssil	122
5.2.3. Análise de incerteza	123
5.3. Resultados	126
5.4. Discussão	132
5.5. Conclusões	134
6. Balanço de carbono nos produtos florestais	137
6.1. Introdução	137
6.1.1. Estado da arte sobre as diferentes abordagens para a quantificação do balanço de carbono nos produtos florestais	137
6.1.2. Métodos de cálculo usados na aplicação das abordagens para a quantificação do balanço de carbono nos produtos florestais	143
6.1.2.1. Aplicabilidade dos métodos	143
6.1.2.2. Método de Winjum <i>et al.</i> (1998)	144
6.1.2.3. Métodos do GPG LULUCF	147
6.1.3. Aplicação a Portugal das abordagens para quantificação do balanço de carbono nos produtos florestais	150
6.1.4. Objectivo	153
6.2. Metodologia	153
6.2.1. Método de Winjum <i>et al.</i> (1998)	153
6.2.1.1. <i>Stock-change approach</i>	153
6.2.1.2. <i>Atmospheric-flow approach</i>	155
6.2.1.3. <i>Production approach</i>	156
6.2.1.4. Dados de entrada	158
6.2.2. Método de 2º nível do GPG LULUCF	159
6.2.2.1. <i>Stock-change approach</i>	159
6.2.2.2. <i>Atmospheric-flow approach</i>	162
6.2.2.3. <i>Production approach</i>	163
6.2.2.4. Dados de entrada	166
6.2.3. Método B de 3º nível do GPG LULUCF	169
6.2.3.1. <i>Stock-change approach</i>	169
6.2.3.2. <i>Atmospheric-flow approach</i>	170
6.2.3.3. <i>Production approach</i>	170
6.2.3.4. Dados de entrada	171
6.2.4. Análise de incerteza	178
6.2.4.1. Método de Winjum <i>et al.</i> (1998)	179
6.2.4.2. Método de 2º nível do GPG LULUCF	182
6.2.4.3. Método B de 3º nível do GPG LULUCF	184
6.2.5. Análise de sensibilidade	188
6.2.5.1. Influência do papel produzido a partir de outras fibras no método de Winjum <i>et al.</i> (1998)	188
6.2.5.2. Influência da fonte dos dados estatísticos de produção e de comércio internacional	189
6.2.5.3. Influência do tipo de FDP na análise de incerteza	189
6.3. Resultados	189
6.3.1. Método de Winjum <i>et al.</i> (1998)	189
6.3.2. Método de 2º nível do GPG LULUCF	199
6.3.3. Método B de 3º nível do GPG LULUCF	209
6.3.4. Comparação dos métodos	219
6.4. Discussão	223

6.5. Conclusões	227
7. Balanço de gases com efeito de estufa no sector florestal do eucalipto e do pinheiro bravo	231
7.1 Introdução	231
7.1.1. Objectivo	232
7.2. Metodologia	233
7.2.1. Floresta	233
7.2.2. Indústria de transformação da madeira	234
7.2.3. Uso e destino final dos produtos	234
7.3. Resultados	236
7.4. Discussão	245
7.5. Conclusões	246
8. Conclusões e sugestões de trabalho futuro	249
8.1. Conclusões	249
8.2. Sugestões de trabalho futuro	252
Referências bibliográficas	253
Anexo A: Estudos realizados com recurso ao método baseado nos tempos de vida dos produtos	
Anexo B: Tempos de trabalho associados às operações mecanizadas realizadas na floresta de eucalipto e pinheiro bravo	
Anexo C: Modelos de gestão dos povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo considerados na análise de sensibilidade	
Anexo D: Classificação dos produtos florestais segundo a FAO	
Anexo E: Obtenção da equação de cálculo da remoção de carbono associada aos produtos florestais dada pela <i>atmospheric-flow approach</i> no método de Winjum <i>et al.</i> (1998)	
Anexo F: Destino final dos produtos florestais em Portugal	
Anexo G: Equivalências entre a classificação dos produtos florestais segundo a FAO e as posições pautais das nomenclaturas de comércio internacional e de produção do INE	
Anexo H: Equivalências entre as categorias de produtos florestais finais e as posições pautais das nomenclaturas de comércio internacional do INE	
Anexo I: Factores de conversão dos dados estatísticos do INE para unidades de volume	
Anexo J: Comparação dos dados estatísticos de madeira e produtos florestais das várias fontes	
Anexo L: Resultados obtidos com os métodos de Winjum <i>et al.</i> (1998), de 2º nível do GPG LULUCF e de 3º nível do GPG LULUCF, para o período de 1900 a 2000	

Lista de figuras

Figura 2.1	Processos, reservatórios de carbono e emissões mais importantes de GEEs associados ao sector florestal (adaptado de Pingoud <i>et al.</i> (2003)). As emissões de CO ₂ de origem fóssil resultantes do transporte de produtos florestais não estão representadas	10
Figura 2.2	Valores estimados por Pingoud <i>et al.</i> (2003) para os <i>stocks</i> e para a variação dos <i>stocks</i> de carbono nos produtos florestais em uso ao nível global	20
Figura 2.3	Perfis de decomposição para um tempo de semi-vida de 50 anos	24
Figura 2.4	Perfis de decomposição adoptados por Kurz <i>et al.</i> (1992) e Apps <i>et al.</i> (1999)	24
Figura 3.1	Evolução das áreas de ocupação da floresta de eucalipto e de pinheiro bravo em Portugal (áreas em que são dominantes)	38
Figura 3.2	Fracção volumétrica de casca no tronco de eucalipto	46
Figura 3.3	Massa volúmica da madeira de eucalipto	46
Figura 3.4	Factor de expansão da biomassa para o eucalipto, definido como o quociente entre a massa de matéria seca total na madeira e casca do tronco, nos ramos e nas folhas e a massa de matéria seca na madeira do tronco com bicada	47
Figura 3.5	Factor de expansão da biomassa para o pinheiro bravo, definido como o quociente entre a massa de matéria seca total na madeira e casca do tronco, nos ramos e nas folhas e a massa de matéria seca na madeira do tronco com bicada	49
Figura 3.6	Massa volúmica da madeira de pinheiro bravo obtida por Castéra <i>et al.</i> (1999)	51
Figura 3.7	<i>Stocks</i> de carbono na biomassa de eucalipto nos anos 1992, 1996, 1998 e 2000	55
Figura 3.8	Remoção de carbono pela biomassa de eucalipto entre os vários anos para os quais foram quantificados os <i>stocks</i> de carbono	56
Figura 3.9	Contribuição relativa de cada parâmetro para a incerteza total associada à remoção de carbono pela biomassa de eucalipto entre os vários anos para os quais foram quantificados os <i>stocks</i> de carbono	57
Figura 3.10	Resultados da análise de sensibilidade: utilização de valores de massa volúmica da madeira de eucalipto definidos em função da idade com base em medições experimentais <i>vs.</i> utilização do valor típico de massa volúmica de 550 kg seco m ⁻³	58
Figura 3.11	Resultados da análise de sensibilidade: utilização de valores do factor de expansão da biomassa de eucalipto definidos em função da idade com base em medições experimentais <i>vs.</i> utilização do valor <i>default</i> do GPG LULUCF para o factor de expansão da biomassa	59
Figura 3.12	Contribuição relativa de cada parâmetro para a incerteza total associada à remoção de carbono pela biomassa de pinheiro bravo entre os anos de 1992 e 1998	60
Figura 4.1	Emissões específicas de carbono das operações associadas à preparação do terreno, à condução de povoamentos florestais e ao estabelecimento da rede viária e divisional em povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo	94
Figura 4.2	Emissões específicas de carbono das operações associadas à exploração florestal	96

Figura 4.3	Emissões de carbono das operações florestais realizadas no ano 2000 em povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo	96
Figura 4.4	Emissões de carbono das operações florestais realizadas no ano 2000 nos povoamentos de eucalipto	97
Figura 4.5	Emissões de carbono das operações florestais realizadas no ano 2000 nos povoamentos de pinheiro bravo	98
Figura 4.6	Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza total associada às emissões anuais de carbono das operações florestais realizadas no ano 2000 nos povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo	99
Figura 4.7	Emissões anuais de carbono das operações florestais em povoamentos de pinheiro bravo: plantação vs. regeneração natural	100
Figura 4.8	Emissões anuais de carbono das operações florestais em povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo quando sujeitos a diferentes modos de controlo da vegetação espontânea: gradagem vs. gradagem e corta-matos	101
Figura 4.9	Emissões anuais de carbono das operações florestais em povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo quando sujeitos a diferentes modos de mobilização do solo: ripagem e subsolagem vs. vala e câmorro	101
Figura 4.10	Efeito da substituição da motosserra por processador nas emissões anuais de carbono do abate e processamento de madeira	102
Figura 4.11	Efeito da substituição do tractor agrícola por tractor transportador nas emissões anuais de carbono da extracção de madeira	102
Figura 4.12	Emissões anuais de carbono das operações florestais em povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo quando sujeitos a diferentes modos de exploração florestal: motosserra e tractor transportador vs. motosserra e tractor agrícola adaptado vs. processador e tractor transportador vs. processador e tractor agrícola adaptado	103
Figura 5.1	Emissões específicas de carbono de origem renovável e fóssil associadas à produção de papel, madeira serrada e painéis a partir de madeira de eucalipto e de pinheiro bravo	127
Figura 5.2	Fontes das emissões específicas de carbono de origem renovável associadas à produção de papel, madeira serrada e painéis a partir de madeira de eucalipto e de pinheiro bravo	128
Figura 5.3	Fontes das emissões específicas de carbono de origem fóssil associadas à produção de papel, madeira serrada e painéis a partir de madeira de eucalipto e de pinheiro bravo	129
Figura 5.4	Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza total associada às emissões específicas de carbono de origem renovável e fóssil resultantes da produção de papel a partir de madeira de eucalipto e de pinheiro bravo	130
Figura 5.5	Contribuição relativa de cada parâmetro para a incerteza total associada às emissões específicas de carbono de origem renovável e fóssil resultantes da produção de madeira serrada a partir de madeira de eucalipto e de pinheiro bravo	131
Figura 5.6	Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza total associada às emissões específicas de carbono de origem renovável e fóssil resultantes da produção de painéis a partir de madeira de eucalipto e de pinheiro bravo	132
Figura 6.1	<i>IPCC default approach</i> (adaptado de Brown <i>et al.</i> (1999)). Os fluxos de importação e exportação representados na figura incluem todos os materiais produzidos a partir de madeira (madeira em bruto, produtos florestais, resíduos, etc.)	138

Figura 6.2	<i>Stock-change approach</i> (adaptado de Brown <i>et al.</i> (1999). Os fluxos de importação, exportação e decomposição/queima de madeira consumida representados na figura incluem todos os materiais produzidos a partir de madeira (madeira em bruto, produtos florestais, resíduos, etc.)	139
Figura 6.3	<i>Production approach</i> (adaptado de Brown <i>et al.</i> (1999)). Os fluxos de importação, exportação e decomposição/queima de madeira nacional representados na figura incluem todos os materiais produzidos a partir de madeira (madeira em bruto, produtos florestais, resíduos, etc.)	139
Figura 6.4	<i>Atmospheric-flow approach</i> (adaptado de Brown <i>et al.</i> (1999)). Os fluxos de importação, exportação e decomposição/queima de madeira consumida representados na figura incluem todos os materiais produzidos a partir de madeira (madeira em bruto, produtos florestais, resíduos, etc.)	140
Figura 6.5	Perfis de decomposição dos produtos em uso considerados por Eggers (2002)	152
Figura 6.6	Fracção de produtos de madeira sólida e de papel e cartão que depois de usados são depositados em aterro (aterro sanitário + lixeira) em Portugal, no período de 1900 a 2000	168
Figura 6.7	Fracção de produtos de madeira sólida e de papel e cartão sujeitos a condições anaeróbias, quando depositados em aterro (aterro sanitário + lixeira), em Portugal	169
Figura 6.8	Remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, utilizando o método de Winjum <i>et al.</i> (1998), de acordo com a <i>stock-change approach</i> , a <i>atmospheric-flow approach</i> e a <i>production approach</i>	190
Figura 6.9	Fluxos de entrada e de saída dos reservatórios de produtos florestais em uso e em aterro no período 1961-2000, considerados no método de Winjum <i>et al.</i> (1998), de acordo com a <i>stock-change approach</i>	190
Figura 6.10	Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, utilizando o método de Winjum <i>et al.</i> (1998), de acordo com a <i>stock-change approach</i>	191
Figura 6.11	Exportação líquida de produtos florestais e madeira em bruto considerada no método de Winjum <i>et al.</i> (1998), na <i>atmospheric-flow approach</i>	192
Figura 6.12	Fluxos de entrada e de saída dos reservatórios de produtos florestais em uso e em aterro no período 1961-2000, considerados no método de Winjum <i>et al.</i> (1998), de acordo com a <i>production approach</i>	193
Figura 6.13	Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, utilizando o método de Winjum <i>et al.</i> (1998), de acordo com a <i>production approach</i>	193
Figura 6.14	Produção e consumo de madeira industrial em bruto no período 1961-2000, utilizando o método de Winjum <i>et al.</i> (1998)	194
Figura 6.15	Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a <i>stock-change approach</i> , utilizando o método de Winjum <i>et al.</i> (1998)	195
Figura 6.16	Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a <i>production approach</i> , utilizando o método de Winjum <i>et al.</i> (1998)	195
Figura 6.17	Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a <i>atmospheric-flow approach</i> , utilizando o método de Winjum <i>et al.</i> (1998)	196
Figura 6.18	Resultados da análise de sensibilidade no método de Winjum <i>et al.</i> (1998): influência do papel produzido a partir de outras fibras vegetais que não a madeira; SCA = <i>stock-change approach</i> , AFA = <i>atmospheric-flow approach</i> , PA = <i>production approach</i>	197

Figura 6.19	Resultados da análise de sensibilidade no método de Winjum <i>et al.</i> 1998): influência da fonte dos dados estatísticos de produção e comércio internacional; SCA = <i>stock-change approach</i> , AFA = <i>atmospheric-flow approach</i> , PA = <i>production approach</i>	198
Figura 6.20	Consumo de produtos florestais, exportação líquida de madeira e produtos florestais e produção de produtos florestais a partir de madeira nacional, utilizando o método de Winjum <i>et al.</i> (1998) para as diferentes fontes de dados estatísticos de produção e comércio internacional	198
Figura 6.21	Resultados da análise de sensibilidade no método de Winjum <i>et al.</i> (1998): influência do tipo de FDP na análise de incerteza; SCA = <i>stock-change approach</i> , AFA = <i>atmospheric-flow approach</i> , PA = <i>production approach</i>	199
Figura 6.22	Remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, utilizando o método de 2º nível do GPG LULUCF, de acordo com a <i>stock-change approach</i> , a <i>atmospheric-flow approach</i> e a <i>production approach</i>	200
Figura 6.23	Fluxos de entrada e de saída dos reservatórios de produtos florestais em uso e em aterro no período 1900-2000, considerados no método de 2º nível do GPG LULUCF, de acordo com a <i>stock-change approach</i>	200
Figura 6.24	Contribuição de cada reservatório para a remoção de carbono, utilizando o método de 2º nível do GPG LULUCF, de acordo com a <i>stock-change approach</i>	201
Figura 6.25	Exportação líquida de produtos florestais, madeira em bruto e outros materiais produzidos a partir de madeira, considerada no método de 2º nível do GPG LULUCF na <i>atmospheric-flow approach</i>	202
Figura 6.26	Fluxos de entrada e de saída dos reservatórios de produtos florestais em uso e em aterro no período 1900-2000, considerados no método de 2º nível do GPG LULUCF, de acordo com a <i>production approach</i>	202
Figura 6.27	Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, utilizando o método de 2º nível do GPG LULUCF, de acordo com a <i>production approach</i>	203
Figura 6.28	Produção e consumo de madeira industrial em bruto no período 1961-2000, utilizando o método de 2º nível do GPG LULUCF	204
Figura 6.29	Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a <i>stock-change approach</i> , utilizando o método de 2º nível do GPG LULUCF	205
Figura 6.30	Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a <i>production approach</i> , utilizando o método de 2º nível do GPG LULUCF	205
Figura 6.31	Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a <i>atmospheric-flow approach</i> , utilizando o método de 2º nível do GPG LULUCF	206
Figura 6.32	Resultados da análise de sensibilidade no método de 2º nível do GPG LULUCF: influência da fonte dos dados estatísticos de produção e comércio internacional; SCA = <i>stock-change approach</i> , AFA = <i>atmospheric-flow approach</i> , PA = <i>production approach</i>	207
Figura 6.33	Fluxos de entrada de carbono nos reservatórios de produtos em uso e em aterro na <i>stock-change approach</i> (SCA) e na <i>production approach</i> (PA) e exportação líquida total de carbono, considerados no método de 2º nível do GPG LULUCF para as diferentes fontes de dados estatísticos de produção e comércio internacional	207
Figura 6.34	Resultados da análise de sensibilidade no método de 2º nível do GPG LULUCF: influência do tipo de FDP na análise de incerteza; SCA = <i>stock-change approach</i> , AFA = <i>atmospheric-flow approach</i> , PA = <i>production approach</i>	208

Figura 6.35	Remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, utilizando o método B de 3º nível do GPG LULUCF, de acordo com a <i>stock-change approach</i> , a <i>atmospheric-flow approach</i> e a <i>production approach</i>	209
Figura 6.36	Fluxos de entrada e de saída dos reservatórios de produtos florestais em uso no período 1900-2000, considerados no método B de 3º nível do GPG LULUCF, de acordo com a <i>stock-change approach</i>	209
Figura 6.37	Contribuição de cada reservatório para a remoção de carbono, utilizando o método B de 3º nível do GPG LULUCF, de acordo com a <i>stock-change approach</i>	210
Figura 6.38	Fluxos de entrada e de saída dos reservatórios de produtos florestais em aterro no período 1900-2000, considerados no método B de 3º nível do GPG LULUCF, de acordo com a <i>stock-change approach</i>	211
Figura 6.39	Exportação líquida de produtos florestais, madeira em bruto e outros materiais produzidos a partir de madeira, considerada no método B de 3º nível do GPG LULUCF na <i>atmospheric-flow approach</i>	212
Figura 6.40	Fluxos de entrada e de saída dos reservatórios de produtos florestais em uso no período 1900-2000, considerados no método B de 3º nível do GPG LULUCF, de acordo com a <i>production approach</i>	212
Figura 6.41	Fluxos de entrada e de saída dos reservatórios de produtos florestais em aterro no período 1900-2000, considerados no método B de 3º nível do GPG LULUCF, de acordo com a <i>production approach</i>	213
Figura 6.42	Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, utilizando o método B de 3º nível do GPG LULUCF, de acordo com a <i>production approach</i>	214
Figura 6.43	Produção e consumo de madeira industrial em bruto no período 1961-2000, utilizando o método B de 3º nível do GPG LULUCF	214
Figura 6.44	Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a <i>stock-change approach</i> , utilizando o método B de 3º nível do GPG LULUCF	215
Figura 6.45	Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a <i>production approach</i> , utilizando o método B de 3º nível do GPG LULUCF	216
Figura 6.46	Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a <i>atmospheric-flow approach</i> , utilizando o método B de 3º nível do GPG LULUCF	216
Figura 6.47	Resultados da análise de sensibilidade no método B de 3º nível do GPG LULUCF: influência da fonte dos dados estatísticos de produção e comércio internacional; SCA = <i>stock-change approach</i> , AFA = <i>atmospheric-flow approach</i> , PA = <i>production approach</i>	217
Figura 6.48	Fluxos de entrada de carbono nos reservatórios de produtos em uso e em aterro na <i>stock-change approach</i> (SCA) e na <i>production approach</i> (PA) e exportação líquida total de carbono, utilizando o método B de 3º nível do GPG LULUCF para as diferentes fontes de dados estatísticos de produção e comércio internacional	218
Figura 6.49	Resultados da análise de sensibilidade no método B de 3º nível do GPG LULUCF: influência do tipo de FDP na análise de incerteza; SCA = <i>stock-change approach</i> , AFA = <i>atmospheric-flow approach</i> , PA = <i>production approach</i>	218
Figura 6.50	Remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, de acordo com a <i>stock-change approach</i> , utilizando o método de Winjum <i>et al.</i> (1998), o método de 2º nível do GPG LULUCF e o método B de 3º nível do GPG LULUCF	219
Figura 6.51	Remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, de acordo com a <i>atmospheric-flow approach</i> , utilizando o método de Winjum <i>et al.</i> (1998), o método de 2º nível do GPG LULUCF e o método B de 3º nível do GPG LULUCF	219

Figura 6.52	Remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, de acordo com a <i>production approach</i> , utilizando o método de Winjum <i>et al.</i> (1998), o método de 2º nível do GPG LULUCF e o método B de 3º nível do GPG LULUCF	220
Figura 6.53	Remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, utilizando o método de 2º nível do GPG LULUCF e o método B de 3º nível do GPG LULUCF com os “melhores” dados disponíveis, de acordo com a <i>stock-change approach</i> (SCA), a <i>atmospheric-flow approach</i> (AFA) e a <i>production approach</i> (PA)	220
Figura 6.54	Amplitude do intervalo de confiança de 95% associada à remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, de acordo com a <i>stock-change approach</i> , utilizando o método de Winjum <i>et al.</i> (1998), o método de 2º nível do GPG LULUCF e o método B de 3º nível do GPG LULUCF	221
Figura 6.55	Amplitude do intervalo de confiança de 95% associada à remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, de acordo com a <i>atmospheric-flow approach</i> , utilizando o método de Winjum <i>et al.</i> (1998), o método de 2º nível do GPG LULUCF e o método B de 3º nível do GPG LULUCF	221
Figura 6.56	Amplitude do intervalo de confiança de 95% associada à remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, de acordo com a <i>production approach</i> , utilizando o método de Winjum <i>et al.</i> (1998), o método de 2º nível do GPG LULUCF e o método B de 3º nível do GPG LULUCF	222
Figura 7.1	Fluxos e variações dos <i>stocks</i> (Δ) de carbono associados ao sector do eucalipto em Portugal no ano 2000, expressos em Gg C ano ⁻¹	237
Figura 7.2	Fluxos e variações dos <i>stocks</i> (Δ) de carbono associados ao sector do pinheiro bravo em Portugal no ano 2000, expressos em Gg C ano ⁻¹	238
Figura 7.3	Destino do carbono removido da atmosfera devido ao crescimento florestal, ao longo do sector florestal do eucalipto e do pinheiro bravo, em Portugal, no ano 2000. As emissões reflectem o PAG do CH ₄	239
Figura 7.4	Emissões de carbono de origem renovável no sector do eucalipto, em Portugal, no ano 2000. As emissões reflectem o PAG do CH ₄ . Q = queima, D = decomposição	240
Figura 7.5	Emissões de carbono de origem renovável no sector do pinheiro bravo, em Portugal, no ano 2000. As emissões reflectem o PAG do CH ₄ . Q = queima, D = decomposição	240
Figura 7.6	Exportação de carbono no sector florestal do eucalipto e do pinheiro bravo, no ano 2000	241
Figura 7.7	Variação dos <i>stocks</i> de carbono no sector florestal do eucalipto e do pinheiro bravo, em Portugal, no ano 2000	242
Figura 7.8	Emissões de carbono com origem fóssil no sector florestal do eucalipto e do pinheiro bravo, em Portugal, no ano 2000	243
Figura 7.9	Remoção de carbono estimada pela <i>stock-change approach</i> (SCA) e pela <i>atmospheric-flow approach</i> (AFA), emissões adicionais de carbono na forma de CH ₄ , emissões de carbono de origem fóssil e balanço de carbono estimado pela SCA e pela AFA, em Portugal, no ano 2000. Valores positivos indicam remoção de carbono e valores negativos indicam emissão de carbono	244
Figura 7.10	Variação dos <i>stocks</i> de carbono nos resíduos e produtos em aterro, emissões adicionais de carbono na forma de CH ₄ resultantes da decomposição de resíduos e produtos em aterro, balanço de carbono associado aos resíduos e produtos em aterro e emissões de carbono num cenário alternativo de queima ou decomposição aeróbia dos resíduos e produtos. Valores positivos indicam remoção de carbono e valores negativos indicam emissão de carbono	245
Figura J.1	Importação de madeira em bruto para queima	J1
Figura J.2	Exportação de madeira em bruto para queima	J1

Figura J.3	Produção de madeira industrial em bruto total	J2
Figura J.4	Produção de madeira industrial em bruto de resinosas	J2
Figura J.5	Produção de madeira industrial em bruto de folhosas	J3
Figura J.6	Importação de madeira industrial em bruto total	J3
Figura J.7	Importação de madeira industrial em bruto de resinosas	J3
Figura J.8	Importação de madeira industrial em bruto de folhosas	J4
Figura J.9	Exportação de madeira industrial em bruto total	J4
Figura J.10	Exportação de madeira industrial em bruto de resinosas	J4
Figura J.11	Exportação de madeira industrial em bruto de folhosas	J5
Figura J.12	Produção de outra madeira industrial de resinosas	J7
Figura J.13	Produção de outra madeira industrial de folhosas	J7
Figura J.14	Importação de outra madeira industrial total	J7
Figura J.15	Importação de outra madeira industrial de resinosas	J8
Figura J.16	Importação de outra madeira industrial de folhosas	J8
Figura J.17	Exportação de outra madeira industrial total	J8
Figura J.18	Exportação de outra madeira industrial de resinosas	J9
Figura J.19	Exportação de outra madeira industrial de folhosas	J9
Figura J.20	Importação de aparas e partículas	J10
Figura J.21	Exportação de aparas e partículas	J10
Figura J.22	Importação de resíduos de madeira	J11
Figura J.23	Exportação de resíduos de madeira	J11
Figura J.24	Produção de madeira serrada total	J12
Figura J.25	Produção de madeira serrada de resinosas	J12
Figura J.26	Produção de madeira serrada de folhosas	J13
Figura J.27	Produção de travessas de caminho de ferro	J13
Figura J.28	Importação de madeira serrada total	J13
Figura J.29	Importação de madeira serrada de resinosas	J14
Figura J.30	Importação de madeira serrada de folhosas	J14
Figura J.31	Importação de travessas de caminho de ferro	J14
Figura J.32	Exportação de madeira serrada total	J15
Figura J.33	Exportação de madeira serrada de resinosas	J15
Figura J.34	Exportação de madeira serrada de folhosas	J15
Figura J.35	Exportação de travessas de caminho de ferro	J16
Figura J.36	Produção de folhas de madeira	J17
Figura J.37	Importação de folhas de madeira	J17
Figura J.38	Exportação de folhas de madeira	J17
Figura J.39	Produção de contraplacados	J18
Figura J.40	Importação de contraplacados	J19
Figura J.41	Exportação de contraplacados	J19
Figura J.42	Produção de painéis de partículas	J20
Figura J.43	Importação de painéis de partículas	J20

Figura J.44	Exportação de painéis de partículas	J20
Figura J.45	Produção de painéis de fibras comprimidos	J21
Figura J.46	Importação de painéis de fibras comprimidos	J22
Figura J.47	Exportação de painéis de fibras comprimidos	J22
Figura J.48	Produção de painéis de fibras duros	J23
Figura J.49	Importação de painéis de fibras duros	J23
Figura J.50	Exportação de painéis de fibras duros	J23
Figura J.51	Produção de painéis de fibras MDF	J24
Figura J.52	Importação de painéis de fibras MDF	J25
Figura J.53	Exportação de painéis de fibras MDF	J25
Figura J.54	Produção de painéis de fibras isolantes	J26
Figura J.55	Importação de painéis de fibras isolantes	J26
Figura J.56	Exportação de painéis de fibras isolantes	J26
Figura J.57	Produção de pasta de madeira	J27
Figura J.58	Importação de pasta de madeira	J27
Figura J.59	Exportação de pasta de madeira	J28
Figura J.60	Produção de pasta de outras fibras	J28
Figura J.61	Importação de pasta de outras fibras	J29
Figura J.62	Exportação de pasta de outras fibras	J29
Figura J.63	Importação de pasta de fibra recuperada	J30
Figura J.64	Exportação de pasta de fibra recuperada	J30
Figura J.65	Importação de papel recuperado	J31
Figura J.66	Exportação de papel recuperado	J31
Figura J.67	Produção de papel de jornal	J32
Figura J.68	Importação de papel de jornal	J32
Figura J.69	Exportação de papel de jornal	J32
Figura J.70	Produção de papel de impressão e escrita	J33
Figura J.71	Importação de papel de impressão e escrita	J33
Figura J.72	Exportação de papel de impressão e escrita	J34
Figura J.73	Produção de outro papel e cartão	J35
Figura J.74	Importação de outro papel e cartão	J35
Figura J.75	Exportação de outro papel e cartão	J35
Figura L.1	Remoção de carbono em Portugal no período 1961-2000, obtida com o método de Winjum <i>et al.</i> (1998), segundo a <i>stock-change approach</i> , a <i>atmospheric-flow approach</i> e a <i>production approach</i>	L1
Figura L.2	Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, obtida com o método de Winjum <i>et al.</i> (1998), segundo a <i>stock-change approach</i>	L1
Figura L.3	Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, obtida com o método de Winjum <i>et al.</i> (1998), segundo a <i>production approach</i>	L2
Figura L.4	Exportação líquida de produtos florestais e de madeira em bruto considerada no método de Winjum <i>et al.</i> (1998), na <i>atmospheric-flow approach</i>	L2

Figura L.5	Remoção de carbono em Portugal no período 1900-2000, obtida com o método de 2º nível do GPG LULUCF, segundo a <i>stock-change approach</i> , a <i>atmospheric-flow approach</i> e a <i>production approach</i>	L3
Figura L.6	Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, obtida com o método de 2º nível do GPG LULUCF, segundo a <i>stock-change approach</i>	L3
Figura L.7	Contribuição dos produtos em uso e em aterro para a remoção de carbono, obtida com o método de 2º nível do GPG LULUCF, segundo a <i>stock-change approach</i>	L3
Figura L.8	Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, obtida com o método de 2º nível do GPG LULUCF, segundo a <i>production approach</i>	L4
Figura L.9	Contribuição dos produtos em uso e em aterro para a remoção de carbono, obtida com o método de 2º nível do GPG LULUCF, segundo a <i>production approach</i>	L4
Figura L.10	Exportação líquida de produtos florestais, de madeira em bruto e de outros materiais produzidos a partir de madeira, considerada no método de 2º nível do GPG LULUCF, na <i>atmospheric-flow approach</i>	L4
Figura L.11	Remoção de carbono em Portugal no período 1900-2000, obtida com o método B de 3º nível do GPG LULUCF, segundo a <i>stock-change approach</i> , a <i>atmospheric-flow approach</i> e a <i>production approach</i>	L5
Figura L.12	Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, obtida com o método B de 3º nível do GPG LULUCF, segundo a <i>stock-change approach</i>	L5
Figura L.13	Contribuição dos produtos em uso e em aterro para a remoção de carbono, obtida com o método B de 3º nível do GPG LULUCF, segundo a <i>stock-change approach</i>	L5
Figura L.14	Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, obtida com o método B de 3º nível do GPG LULUCF, segundo a <i>production approach</i>	L6
Figura L.15	Contribuição dos produtos em uso e em aterro para a remoção de carbono, obtida com o método B de 3º nível do GPG LULUCF, segundo a <i>production approach</i>	L6
Figura L.16	Exportação líquida de produtos florestais, de madeira em bruto e de outros materiais produzidos a partir de madeira, considerada no método B de 3º nível do GPG LULUCF, na <i>atmospheric-flow approach</i>	L6

Lista de tabelas

Tabela 2.1	Balanço global de carbono (em Pg C ano ⁻¹) segundo o último relatório de avaliação do IPCC (Prentice <i>et al.</i> , 2001) e estimativas mais recentes de House <i>et al.</i> (2003)	14
Tabela 3.1	Inventários florestais realizados para o eucalipto: ano de apuramento dos volumes, promotores e volume contabilizado	45
Tabela 3.2	Valores de fracção volumétrica de casca no tronco, massa volúmica da madeira e factor de expansão da biomassa usados para o eucalipto	47
Tabela 3.3	Valores do factor de expansão da biomassa usados para o pinheiro bravo	49
Tabela 3.4	Valores usados para a massa volúmica da madeira de pinheiro bravo na análise de sensibilidade, estabelecidos com base em Castéra <i>et al.</i> (1999)	50
Tabela 3.5	Incerteza associada aos parâmetros de entrada nos cálculos para o eucalipto	54
Tabela 3.6	Incerteza associada aos parâmetros de entrada nos cálculos para o pinheiro bravo	54
Tabela 3.7	Valores estimados para o crescimento médio anual do eucalipto	56
Tabela 3.8	<i>Stocks</i> e remoção de carbono associados à biomassa de pinheiro bravo	59
Tabela 4.1	Tempos de trabalho e consumos de combustível das operações associadas à preparação do terreno, à condução dos povoamentos florestais e ao estabelecimento da rede viária e divisional	80
Tabela 4.2	Tempos de trabalho e consumos de combustível das operações associadas à exploração florestal	81
Tabela 4.3	Características dos combustíveis usados nas operações florestais	82
Tabela 4.4	Modelo de gestão adoptado para os povoamentos de eucalipto	84
Tabela 4.5	Modelo de gestão adoptado para os povoamentos de pinheiro bravo	85
Tabela 4.6	Frequência de execução das operações mecanizadas e motomanuais ao longo de uma revolução nos povoamentos de eucalipto	86
Tabela 4.7	Frequência de execução das operações mecanizadas e motomanuais ao longo de uma revolução nos povoamentos de pinheiro bravo	86
Tabela 4.8	Áreas de ocupação florestal no ano 2000	87
Tabela 4.9	Volumes de madeira cortados no ano 2000	88
Tabela 4.10	Incerteza associada aos parâmetros de entrada no modelo de cálculo das emissões de carbono de origem fóssil na floresta de eucalipto e pinheiro bravo	91
Tabela 5.1	Valores da fracção de carbono na matéria seca dos materiais considerados na indústria de pasta e papel	116
Tabela 5.2	Valores dos parâmetros de entrada usados no cálculo das emissões específicas de carbono de origem renovável associadas à madeira serrada	119
Tabela 5.3	Valores dos parâmetros de entrada usados no cálculo das emissões específicas de carbono de origem renovável associadas aos painéis	121

Tabela 5.4	Valores do poder calorífico inferior, do factor de emissão de carbono e da fracção de carbono oxidado dos combustíveis fósseis consumidos na indústria dos produtos florestais	122
Tabela 5.5	Incerteza associada aos parâmetros de entrada usados no cálculo das emissões específicas de carbono de origem renovável associadas à produção de papel	124
Tabela 5.6	Incerteza associada aos parâmetros de entrada usados no cálculo das emissões específicas de carbono de origem renovável associadas à produção de madeira serrada e de painéis	125
Tabela 5.7	Incerteza associada aos parâmetros de entrada usados no cálculo das emissões específicas de carbono de origem fóssil	126
Tabela 6.1	Definição da remoção de carbono associada à floresta e aos produtos florestais para as várias abordagens, segundo as perspectivas das variações dos stocks e dos fluxos (Brown <i>et al.</i> , 1999; Flugsrud <i>et al.</i> , 2001; Pingoud <i>et al.</i> , 2003)	142
Tabela 6.2	Definição da remoção de carbono associada aos produtos florestais para as várias abordagens, segundo as perspectivas das variações dos stocks e dos fluxos (Pingoud <i>et al.</i> , 2003)	142
Tabela 6.3	Valores para a fracção de produtos com tempo de vida longo e a taxa de decomposição dos produtos propostos por Winjum <i>et al.</i> (1998)	145
Tabela 6.4	Valores para a massa volúmica, a fracção de casca e a fracção de carbono na madeira em bruto e nos produtos florestais propostos por Winjum <i>et al.</i> (1998)	146
Tabela 6.5	Valores para a taxa de decomposição e o tempo de semi-vida dos produtos florestais em uso, propostos como <i>default</i> no GPG LULUCF	148
Tabela 6.6	Valores propostos no GPG LULUCF para o factor de conversão para massa seca (massa volúmica no caso da madeira em bruto e dos produtos de madeira sólida, e teor de sólidos no caso da pasta e papel) e para a fracção de carbono na madeira em bruto e nos produtos florestais	149
Tabela 6.7	Distribuição da madeira em bruto cortada pelas diferentes linhas de produção de produtos florestais considerada por Eggers (2002)	151
Tabela 6.8	Quantidade de madeira efectivamente incorporada nos produtos florestais e modo como se repartem as perdas associadas ao processamento da madeira, em cada linha de produção, consideradas por Eggers (2002)	151
Tabela 6.9	Distribuição dos produtos florestais pelas quatro categorias de uso consideradas por Eggers (2002)	151
Tabela 6.10	Distribuição dos produtos florestais pelas diferentes alternativas de destino final considerada por Eggers (2002)	152
Tabela 6.11	Valores dos parâmetros necessários para o cálculo de CP_{ti} e de PPN_{ti} para o período não abrangido por dados estatísticos	174
Tabela 6.12	Valores para o factor de conversão para massa seca (massa volúmica no caso da madeira sólida, e teor de sólidos no caso da pasta e papel) usados no método B de 3º nível do GPG LULUCF	175
Tabela 6.13	Valores para a fracção de carbono usados no método B de 3º nível do GPG LULUCF	176
Tabela 6.14	Valores para a taxa de decomposição dos produtos florestais em uso e respectivos tempos de vida médios e tempos de semi-vida usados no método B de 3º nível do GPG LULUCF	177
Tabela 6.15	Aplicações da madeira serrada (excluindo as travessas de caminho de ferro) e dos painéis de madeira consideradas no método B de 3º nível do GPG LULUCF	178
Tabela 6.16	Incerteza associada aos parâmetros de entrada no método de Winjum <i>et al.</i> (1998)	179

Tabela 6.17	Incerteza associada aos parâmetros de entrada no método de 2º nível do GPG LULUCF	184
Tabela 6.18	Incerteza associada aos parâmetros de entrada no método B de 3º nível do GPG LULUCF	186
Tabela 7.1	Tipo de dados de consumo de produtos florestais usados nos cálculos efectuados com o método B de 3º nível do GPG LULUCF e valores obtidos para a variação dos <i>stocks</i> de carbono	235
Tabela A.1	Estudos realizados com recurso ao método baseado nos tempos de vida dos produtos: fronteiras geográficas, categorias de produtos florestais consideradas e respectivos tempos de vida e perfil da decomposição	A1
Tabela B.1	Tempos de trabalho associados aos corta-matos	B1
Tabela B.2	Tempos de trabalho associados à gradagem	B2
Tabela B.3	Tempos de trabalho associados à eliminação de cepos	B3
Tabela B.4	Tempos de trabalho associados à abertura de covas	B3
Tabela B.5	Tempos de trabalho associados à ripagem	B4
Tabela B.6	Tempos de trabalho associados à subsolagem	B5
Tabela B.7	Tempos de trabalho associados à lavoura	B6
Tabela B.8	Tempos de trabalho associados à armação do terreno em vala e câmore	B7
Tabela B.9	Tempos de trabalho associados à construção de terraços	B8
Tabela B.10	Tempos de trabalho associados à abertura e beneficiação de caminhos	B9
Tabela B.11	Tempos de trabalho associados à abertura e beneficiação de aceiros	B10
Tabela C.1	Modelo de gestão dos povoamentos de pinheiro bravo instalados por regeneração natural	C1
Tabela C.2	Frequência de execução das operações mecanizadas e motomanuais das fases de condução de povoamentos e de estabelecimento da rede viária e divisional ao longo de uma revolução, em povoamentos de pinheiro bravo instalados por regeneração natural	C2
Tabela C.3	Modelo de gestão dos povoamentos de eucalipto usando corta-matos no controlo da vegetação espontânea	C3
Tabela C.4	Frequência de execução das operações mecanizadas e motomanuais das fases de preparação do terreno, condução dos povoamentos e de estabelecimento da rede viária e divisional ao longo de uma revolução, em povoamentos de eucalipto usando corta-matos no controlo da vegetação espontânea	C4
Tabela C.5	Modelo de gestão dos povoamentos de pinheiro bravo usando corta-matos no controlo da vegetação espontânea	C5
Tabela C.6	Frequência de execução das operações mecanizadas e motomanuais das fases de preparação do terreno, condução dos povoamentos e de estabelecimento da rede viária e divisional ao longo de uma revolução, em povoamentos de pinheiro bravo usando corta-matos no controlo da vegetação espontânea	C6
Tabela C.7	Modelo de gestão dos povoamentos de eucalipto usando vala e câmore na mobilização do solo	C7
Tabela C.8	Frequência de execução das operações mecanizadas e motomanuais das fases de preparação do terreno, condução dos povoamentos e de estabelecimento da rede viária e divisional ao longo de uma revolução, em povoamentos de eucalipto usando vala e câmore na mobilização do solo	C8
Tabela C.9	Modelo de gestão dos povoamentos de pinheiro bravo usando vala e câmore na mobilização do solo	C9

Tabela C.10	Frequência de execução das operações mecanizadas e motomanuais das fases de preparação do terreno, condução dos povoamentos e de estabelecimento da rede viária e divisional ao longo de uma revolução, em povoamentos de pinheiro bravo usando vala e câmorro na mobilização do solo	C10
Tabela F.1	Destino final dado ao papel e cartão em Portugal	F1
Tabela F.2	Destino final dado aos produtos de madeira sólida em Portugal	F3
Tabela G.1	Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da Pauta Aduaneira de 1942 a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1943 a 1950	G2
Tabela G.2	Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da Pauta Aduaneira de 1950 a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1951 a 1959	G3
Tabela G.3	Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da Pauta Aduaneira de 1959 a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1960	G4
Tabela G.4	Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da Pauta Aduaneira de 1959 a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1961	G5
Tabela G.5	Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da Pauta Aduaneira de 1959 a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1962 a 1965	G6
Tabela G.6	Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da CMCE a que obedecem os dados de comércio internacional do INE em 1966 e 1967	G7
Tabela G.7	Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da CMCE a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1968 a 1977	G8
Tabela G.8	Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da CMCE a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1978 a 1982	G9
Tabela G.9	Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da NEMCE a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1983 a 1987	G10
Tabela G.10	Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da Nomenclatura Combinada a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1988 a 2000	G11
Tabela G.11	Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da PRODCOM a que obedecem os dados de produção do INE de 1992 a 2000	G12
Tabela H.1	Posições pautais das nomenclaturas a que obedecem os dados de comércio internacional do INE correspondentes às obras de madeira	H2
Tabela H.2	Posições pautais das nomenclaturas a que obedecem os dados de comércio internacional do INE correspondentes às obras de papel e cartão	H3
Tabela I.1	Valores considerados para a massa volúmica usados na conversão dos dados de comércio internacional do INE para unidades de volume	I1
Tabela I.2	Valores considerados para os factores de conversão usados para converter os dados de produção do INE para unidades de volume	I2
Tabela J.1	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para a madeira em bruto para queima	J1
Tabela J.2	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para a madeira industrial em bruto	J5

Tabela J.3	Actividades com dados de consumo de madeira industrial em bruto disponíveis nas “Estatísticas Industriais” do INE	J6
Tabela J.4	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para a outra madeira industrial	J9
Tabela J.5	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para as aparas e partículas	J10
Tabela J.6	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para os resíduos de madeira	J11
Tabela J.7	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para a madeira serrada	J16
Tabela J.8	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para as folhas de madeira	J18
Tabela J.9	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para os contraplacados	J19
Tabela J.10	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para os painéis de partículas	J21
Tabela J.11	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para os painéis de fibras duros	J24
Tabela J.12	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para os painéis de fibras MDF	J25
Tabela J.13	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para os painéis de fibras isolantes	J27
Tabela J.14	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para a pasta de madeira	J28
Tabela J.15	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para a pasta de outras fibras	J29
Tabela J.16	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para a pasta de fibra recuperada	J30
Tabela J.17	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para o papel recuperado	J31
Tabela J.18	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para o papel de jornal	J33
Tabela J.19	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para o papel de impressão e escrita	J34
Tabela J.20	Fontes dos “melhores” dados disponíveis para o outro papel e cartão	J36

Símbolos e abreviaturas

Acel	Associação das Empresas Produtoras de Pasta de Celulose
AIMMP	Associação das Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal
CCA	<i>Chromated copper arsenate</i>
Celpa	Associação da Indústria Papeleira
CFC	Clorofluorcarboneto
CH ₄	Metano
CMCE	Classificação Nacional de Mercadorias para as Estatísticas do Comércio Externo
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COP	<i>Conference of the Parties</i>
COV	Composto orgânico volátil
COVNM	Composto orgânico volátil não metano
CQNUAC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas
DGF	Direcção-Geral das Florestas
DGRF	Direcção-Geral dos Recursos Florestais
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
Fapel	Associação Portuguesa de Fabricantes de Papel e Cartão
FDP	Função de distribuição de probabilidade
GEE	Gás com efeito de estufa
GPG LULUCF	<i>Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry</i>
GPGUM NGGI	<i>Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories</i>
HCFC	Hidroclorofluorcarboneto
HFC	Hidrofluorcarboneto
IC	Implementação conjunta
IF	Instituto Florestal
INE	Instituto Nacional de Estatística
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPF	Instituto dos Produtos Florestais
ITTO	<i>International Tropical Timber Organization</i>
JQ	<i>Joint Questionnaire</i>
MDF	<i>Medium density fibreboard</i>
MDL	Mecanismo de desenvolvimento limpo
NDVI	<i>Normalized difference vegetation index</i>

NEMCE	Nomenclatura Estatística de Mercadorias do Comércio Externo
NO _x	Óxidos de azoto
N ₂ O	Óxido nitroso
O ₃	Ozono
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PAG	Potencial de aquecimento global
PFC	Perfluorcarboneto
PNUA	Programa das Nações Unidas para o Ambiente
PRODCOM	Produção Comunitária
RSU	Resíduos sólidos urbanos
SF ₆	Hexafluoreto de enxofre
SO ₂	Dióxido de enxofre
UNECE	<i>United Nations Economic Commission for Europe</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1. Enquadramento

O aquecimento global da Terra associado às alterações climáticas é dos mais preocupantes e complexos problemas que a sociedade actual tem de enfrentar, tendo repercussões ao nível dos ecossistemas, da qualidade da água, da saúde humana e das actividades económicas. Um dos principais responsáveis por este fenómeno é o dióxido de carbono (CO₂) emitido pela queima de combustíveis fósseis (IPCC, 2001a).

O sector florestal, mais do que qualquer outro sector económico, possui o potencial de contribuir para a estabilização, ou mesmo mitigação, do fenómeno do aquecimento global. Esta capacidade resulta da especificidade de determinadas propriedades inerentes à floresta, aos produtos florestais e à gestão, nomeadamente energética, da indústria dos produtos florestais.

Com efeito, a floresta, graças à sua capacidade de remover o CO₂ da atmosfera transformando-o em hidratos de carbono (através da função fotossintética), constitui um reservatório¹ de carbono. A floresta pode também constituir um sumidouro² efectivo de carbono, desde que o seu crescimento supere as perdas de biomassa associadas aos cortes, aos incêndios ou às pragas e doenças (IPCC, 2000b).

¹ Um reservatório é qualquer componente do sistema climático onde há armazenamento de um gás com efeito de estufa ou de um seu precursor (UN, 1992).

² Um sumidouro é qualquer processo, actividade ou mecanismo que remove da atmosfera um gás com efeito de estufa, ou um seu precursor, ou um aerossol (UN, 1992).

De igual modo, os produtos florestais armazenam parte do carbono originalmente presente na floresta por períodos mais ou menos longos, podendo, assim, retardar o regresso do carbono que contêm à atmosfera (UNFCCC, 2003a). Com efeito, alguns produtos florestais, tais como edifícios de madeira, mobiliário e livros, apresentam períodos de utilização de várias décadas, enquanto que outros, como os jornais ou as embalagens de papel ou madeira, apresentam tempos de vida bastante mais curtos (IPCC, 2000b). Contudo, se estes produtos tiverem como destino final o aterro sanitário, o seu tempo de vida pode ser substancialmente maior já que, em condições anaeróbias, a sua decomposição é lenta e incompleta (Micales e Skog, 1997). Os produtos florestais podem também indirectamente contribuir para a redução das emissões de CO₂ pelo facto de substituírem combustíveis fósseis (Schlamadinger *et al.*, 1997; Schwaiger e Schlamadinger, 1998) ou substituírem outros materiais (alumínio, aço, cimento, etc.) cujo processo de produção é mais exigente em termos de consumo de combustíveis fósseis (Buchanan e Levine, 1999; Börjesson e Gustavsson, 2000; Petersen e Solberg, 2002; Sedjo, 2002).

Relativamente às indústrias florestais, uma grande parte da energia por elas consumida é produzida a partir de biomassa. Em 1997, esta fonte de energia constituía, em média, cerca de 50% da energia utilizada na indústria de pasta e papel na Europa (AF&PA *et al.*, 2000). Na indústria dos produtos de madeira sólida, cerca de 75% da energia consumida é proveniente da biomassa (CEI-Bois, 2004).

O sector florestal constitui assim um importante instrumento para o controlo do fenómeno do aquecimento global, pelo que, no estabelecimento das políticas que visam atingir este objectivo, é essencial que a contribuição deste sector seja conhecida. Nesse sentido, em países como o Canadá (Apps *et al.*, 1999; Kurz e Apps, 1999) ou a Finlândia (Pingoud *et al.*, 1996), onde o sector florestal assume um papel estratégico na economia, foram realizados estudos que quantificam, para a totalidade do sector florestal, as emissões e remoções de gases com efeito de estufa (GEEs) com origem na biomassa e nos combustíveis fósseis. Em Portugal não existe nenhum estudo com estas características, embora já tenham sido realizados estudos que incidem sobre aspectos específicos do sector florestal, tais como o estabelecimento de balanços de carbono na floresta (Azevedo, 2000; Madeira *et al.*, 2002a; Madeira *et al.*, 2002b; Pereira *et al.*, 2003; Correia, 2004; Ferreira *et al.*, 2004) e a contabilização das emissões/remoções de GEEs ao longo do ciclo de vida do papel de impressão e escrita produzido a partir de eucalipto português (Dias *et al.*, 2000; Dias *et al.*, 2002). Foram ainda conduzidos outros estudos, de âmbito global, que fornecem informação sobre Portugal, nomeadamente no que respeita aos balanços de carbono na floresta (UN-ECE/FAO, 2000; Liski *et al.*, 2002; Dong *et al.*, 2003; Karjalainen *et al.*, 2003) e nos produtos florestais (Jäkel *et al.*, 1999; Eggers, 2002; Pingoud *et al.*, 2003). No entanto, dada a natureza abrangente destes estudos, as especificidades das espécies e dos produtos florestais portugueses não são consideradas, pelo que os resultados obtidos são meramente indicativos.

1.2. Objectivos

Esta tese visa avaliar a contribuição do sector florestal português, associado às fileiras do eucalipto e do pinheiro bravo, para o fenómeno das alterações climáticas. Neste sentido, são quantificadas as emissões e as remoções dos principais GEEs, desde a floresta até ao destino final dos produtos florestais, incluindo o processamento industrial da madeira.

Neste contexto, as fileiras do eucalipto e do pinheiro bravo mereceram especial destaque por dois motivos principais:

- os povoamentos de pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) e de eucalipto (quase exclusivamente *Eucalyptus globulus*) são dos mais importantes em Portugal em termos de área ocupada. O pinheiro bravo é a espécie mais abundante, representando cerca de 30% da área total de floresta, enquanto que o eucalipto ocupa cerca de 21% da área total de floresta, constituindo a terceira maior ocupação de área florestal (DGF, 2001);
- estes povoamentos produzem a quase totalidade da madeira removida da floresta portuguesa, constituindo a principal matéria-prima das indústrias de pasta e papel e dos produtos de madeira sólida em Portugal (INE, 2001).

Numa óptica mais abrangente, é igualmente efectuada a quantificação do carbono acumulado nos produtos florestais, que incluem não só os produtos florestais derivados do pinheiro bravo e do eucalipto portugueses, mas também os produtos florestais produzidos a partir de outras madeiras portuguesas e madeiras importadas e os produtos florestais importados. Este alargamento do âmbito do trabalho é justificado pela importância crescente que a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (CQNUAC) tem vindo a dar ao desenvolvimento de abordagens e metodologias de cálculo adequadas para a quantificação do carbono acumulado nos produtos florestais (UNFCCC, 2003b; UNFCCC, 2004), tendo em vista a futura inclusão dos produtos florestais nos inventários nacionais de emissões de GEEs e, caso as negociações internacionais avancem nesse sentido, a sua contabilização no segundo período de cumprimento do Protocolo de Quioto.

Assim, com este trabalho pretende-se gerar conhecimento de base que permita avaliar o sector florestal no contexto das alterações climáticas e possibilite o estabelecimento de políticas de âmbito nacional, sectorial, ou mesmo empresarial, que incluam a fileira florestal como parte integrante das medidas mitigadoras das emissões de GEEs.

1.3. Organização da tese

Esta tese está estruturada em 8 capítulos. No presente capítulo foi efectuado o enquadramento do trabalho e foram apresentados os seus objectivos. No Capítulo 2 é efectuada uma revisão do estado do conhecimento actual sobre conceitos enquadramentos dos assuntos que serão focados nos capítulos posteriores. É dada particular atenção às causas do aquecimento global, às respostas da comunidade internacional face a esse fenómeno, às principais fontes e sumidouros de GEEs no sector florestal, aos balanços de carbono na floresta e nos produtos florestais (com especial ênfase para a sua importância ao nível global e para as metodologias normalmente utilizadas na sua quantificação) e aos métodos geralmente utilizados na avaliação das incertezas associadas às emissões/remoções de GEEs. O Capítulo 3 é dedicado à análise do balanço de carbono nas florestas de eucalipto e de pinheiro bravo. O Capítulo 4 incide sobre a quantificação das emissões de CO₂ de origem fóssil associadas às operações mecanizadas e motomanuais realizadas nos povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo. No Capítulo 5 são avaliadas as emissões de GEEs decorrentes do processamento industrial das madeiras de eucalipto e de pinheiro bravo, mais concretamente na indústria de pasta e papel, na indústria dos painéis de madeira e na indústria da serração de madeira. No Capítulo 6 é feita a quantificação do carbono acumulado nos produtos florestais, quer nos produzidos a partir de madeira portuguesa, quer nos consumidos em Portugal. Nesse sentido, são usadas três abordagens que diferem no modo como o carbono presente na madeira e nos produtos florestais comercializados internacionalmente é repartido entre países importadores e exportadores e, para cada abordagem, são aplicados três métodos de cálculo distintos. No Capítulo 7 é efectuada a análise das emissões e remoções de GEEs na totalidade do sector florestal do eucalipto e do pinheiro bravo, integrando os resultados obtidos nos Capítulos 3, 4, 5 e 6. Por fim, no Capítulo 8 são apresentadas as principais conclusões do trabalho e são propostas sugestões para trabalho futuro.

Capítulo 2

O sector florestal e as alterações climáticas

2.1. O aquecimento global

A temperatura da Terra é controlada pelo balanço radiativo global. A Terra recebe radiação solar, da qual reflecte cerca de 30%, e emite radiação infravermelha, que é parcialmente absorvida por alguns gases presentes na atmosfera, que a reemitem para a superfície terrestre, evitando que se perca para o espaço. Estes gases, denominados de gases com efeito de estufa (GEEs), incluem o vapor de água, o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e o ozono (O_3). Sem este fenómeno, designado por efeito de estufa natural, a temperatura média da superfície terrestre seria de cerca de -19°C , o que tornaria o planeta inabitável (IPCC, 2001a). Para além destes gases, que são constituintes naturais da atmosfera, existem outros GEEs, na sua maioria emitidos exclusivamente por actividades antropogénicas, que incluem o hexafluoreto de enxofre (SF_6) e vários hidrocarbonetos halogenados: halons, clorofluorcarbonetos (CFCs), hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs), hidrofluorcarbonetos (HFCs) e perfluorcarbonetos (PFCs). O monóxido de carbono (CO), os óxidos de azoto (NO_x) e os compostos orgânicos voláteis não metano (COVNM), embora não sejam GEEs, são precursores de O_3 , promovendo a sua formação.

O aumento da concentração de GEEs na atmosfera, que se tem vindo a verificar em resultado das actividades humanas (IPCC, 2001a; Oreskes, 2004), traduziu-se num aumento do efeito de estufa, provocando um aumento adicional da temperatura do globo. Durante o século 20 o aumento da

temperatura foi de cerca de 0,6°C e, segundo as previsões mais actualizadas, será de 1,4 a 5,8°C no século 21, se não for efectuado qualquer esforço no sentido do controlo das emissões de GEEs (IPCC, 2001a). O CO₂ é responsável por cerca de 60% do aquecimento global, o CH₄ por 20%, o N₂O por 6% e os compostos halogenados pelos restantes 14% (IPCC, 2001a).

2.2. Fontes antropogénicas de GEEs

Cerca de 75% das emissões globais de CO₂ de origem antropogénica resultam da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), enquanto que a segunda maior fonte antropogénica de CO₂ à escala planetária é a alteração no uso do solo, em especial, a desflorestação, que conduz à libertação para a atmosfera da maioria do carbono armazenado nas árvores, através da sua queima ou decomposição (IPCC, 2001a). A produção de cal no fabrico de cimento bem como a queima de biomassa constituem outras fontes antropogénicas de CO₂ (IPCC, 1997c; IPCC, 2001a; UNEP e UNFCCC, 2002).

As actividades agrícolas, nomeadamente a criação de gado e a produção de arroz, são responsáveis por cerca de 50 a 55% das emissões globais de CH₄ de origem antropogénica (UNEP e UNFCCC, 2002). Outras fontes antropogénicas de CH₄ incluem a queima de combustíveis fósseis e de biomassa, a extracção, o processamento e o transporte de combustíveis fósseis (principalmente carvão e gás natural) e a decomposição anaeróbia de resíduos e de efluentes líquidos (IPCC, 2001a; UNEP e UNFCCC, 2002; Wuebbles e Hayhoe, 2002).

As emissões antropogénicas de N₂O resultam essencialmente do uso na agricultura de fertilizantes e estrumes contendo azoto, embora a contribuição relativa desta fonte não seja bem conhecida pois as suas emissões apresentam grandes variações no tempo e no espaço (IPCC, 2001a). A queima de combustíveis fósseis e biomassa, juntamente com a indústria química (nomeadamente a produção de ácido adípico e ácido nítrico), constituem outras fontes antropogénicas de N₂O (IPCC, 1997b; IPCC, 1997c; IPCC, 2001a; UNEP e UNFCCC, 2002).

As emissões de hidrocarbonetos halogenados (halons, CFCs, HCFCs, HFCs e PFCs) estão associadas ao uso destes compostos em aerossóis, solventes de limpeza, frigoríficos, ar condicionado, espumas expandidas e extinção de incêndios (WMO, 2003), bem como aos processos industriais de produção de alumínio, semicondutores e HCFC-22 (IPCC, 1997b; IPCC, 1997c; IPCC, 2000a). A utilização de CFCs, HCFCs e halons está presentemente limitada pelo Protocolo de Montreal, com vista à protecção da camada de ozono estratosférico (UNEP, 2000).

A maior parte das emissões globais de SF₆ resulta da utilização deste gás em equipamentos eléctricos (Ko *et al.*, 1993; IPCC, 2000a). Outras fontes de SF₆ incluem a sua utilização na extinção de incêndios e os processos industriais de produção de alumínio, magnésio e semicondutores (IPCC, 1997b; IPCC, 1997c; IPCC, 2000a).

O O₃ troposférico é formado, na atmosfera, através de processos fotoquímicos que envolvem a oxidação de compostos orgânicos voláteis (COVs) e CO, na presença de NO_x e radiação ultra-violeta. As emissões antropogénicas de COVs, CO e NO_x resultam principalmente da combustão de combustíveis fósseis e de biomassa (IPCC, 2001a). Estes gases são também emitidos pelas actividades industriais e, os COVs, podem ainda ter origem na evaporação de combustíveis fósseis e de solventes (IPCC, 1997b; IPCC, 1997c).

2.3. As respostas da comunidade internacional face ao aquecimento global

O aquecimento global foi pela primeira vez reconhecido pela comunidade internacional como um problema ambiental na Primeira Conferência Mundial do Clima, organizada em 1979 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Os participantes na conferência alertaram os governantes para a necessidade de prever e prevenir potenciais alterações climáticas de origem antropogénica e recomendaram a criação do Programa Climático Mundial. Seguiram-se-lhe várias conferências intergovernamentais que conduziram a um interesse crescente sobre as questões associadas às alterações climáticas.

Em 1988 é criado, pela OMM e pelo Programa das Nações Unidas para o Ambiente (PNUA), o Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC). O IPCC é composto por cientistas de mérito reconhecido provenientes de todo o mundo, e tem por objectivo recolher e analisar a informação científica, técnica e socio-económica associada à temática das alterações climáticas. De entre as várias publicações do IPCC, destacam-se os três relatórios de avaliação publicados em 1990, 1995 e 2001 (IPCC, 1990a; IPCC, 1990b; IPCC, 1990c; IPCC, 1995a; IPCC, 1995b; IPCC, 1995c; IPCC, 2001a; IPCC, 2001b; IPCC, 2001c).

O primeiro relatório de avaliação do IPCC deu início às negociações para o estabelecimento da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (CQNUAC), assinada por cerca de 150 países na Cimeira da Terra, realizada no Rio de Janeiro, em 1992, tendo entrado em vigor em 1994 (UN, 1992). A CQNUAC tem como objectivo final a estabilização das concentrações

atmosféricas de GEEs a um nível que evite uma interferência antropogénica perigosa com o sistema climático. No âmbito da CQNUAC, os países ficam obrigados a vários compromissos, entre eles, a realização de inventários nacionais de emissões de GEEs, a adopção de programas nacionais de redução das emissões de GEEs e o desenvolvimento de estratégias de adaptação aos impactos das alterações climáticas. A Conferência das Partes (*Conference of the Parties* - COP), a autoridade suprema da CQNUAC, reúne periodicamente (em geral, anualmente) todos os países membros, com o objectivo de promover e garantir o cumprimento da Convenção.

Durante a terceira COP (COP-3), realizada em Dezembro de 1997, foi adoptado o Protocolo de Quioto (UNFCCC, 1998), que acrescenta novos compromissos à CQNUAC, estabelecendo metas quantificadas para redução de um conjunto de seis GEEs: CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC e SF₆. No âmbito do Protocolo de Quioto, os países industrializados (países do Anexo I da CQNUAC) são obrigados a um esforço de redução global das suas emissões de GEEs, expressas em equivalentes de CO₂¹, de pelo menos 5%, no período de 2008 a 2012 (calculado como uma média desses cinco anos). As reduções são definidas em relação ao ano de referência de 1990, embora para os gases HFCs, PFCs e SF₆ o ano de referência possa ser 1995. A União Europeia comprometeu-se com uma redução global de 8% e estabeleceu, ao abrigo do compromisso comunitário de partilha de responsabilidades, metas de redução diferenciadas para cada um dos seus Estados-Membros (União Europeia, 2002). Portugal pode aumentar em 27% as suas emissões dos seis GEEs, expressas em equivalentes de CO₂, e em 40% as suas emissões de CO₂.

Na COP-7, realizada em Marraquexe em Novembro de 2001, foram acordadas as definições, regras e modalidades necessárias para que o Protocolo de Quioto pudesse ser ratificado. A 16 de Fevereiro de 2005 o Protocolo de Quioto entrou finalmente em vigor, após ter sido ratificado por 141 países, dos quais 37 são países do Anexo I da CQNUAC e cujas emissões representam 61,6% das emissões totais de CO₂ em 1990 (UNFCCC, 2005).

¹ Os equivalentes de CO₂ permitem exprimir qualquer GEE em unidades de CO₂, através do recurso aos respectivos potenciais de aquecimento global (PAGs). O PAG constitui uma medida da capacidade de cada gás, enquanto GEE, quando comparada com a capacidade do CO₂, integrada num determinado horizonte temporal. Para os GEEs contemplados no Protocolo de Quioto, os PAGs estimados pelo IPCC no seu terceiro relatório de avaliação (IPCC, 2001c), para um horizonte temporal de 100 anos, são os seguintes:

GEE	PAG (kg CO ₂ kg ⁻¹)
CO ₂	1
CH ₄	23
N ₂ O	296
HFC	12 - 12000
PFC	5700 - 11900
SF ₆	22200

2.4. As emissões e remoções de GEEs no sector florestal

2.4.1. No âmbito geral

A Figura 2.1 apresenta, de forma simplificada, as emissões e remoções dos GEEs mais importantes no sector florestal, desde a floresta até ao destino final da biomassa florestal cortada.

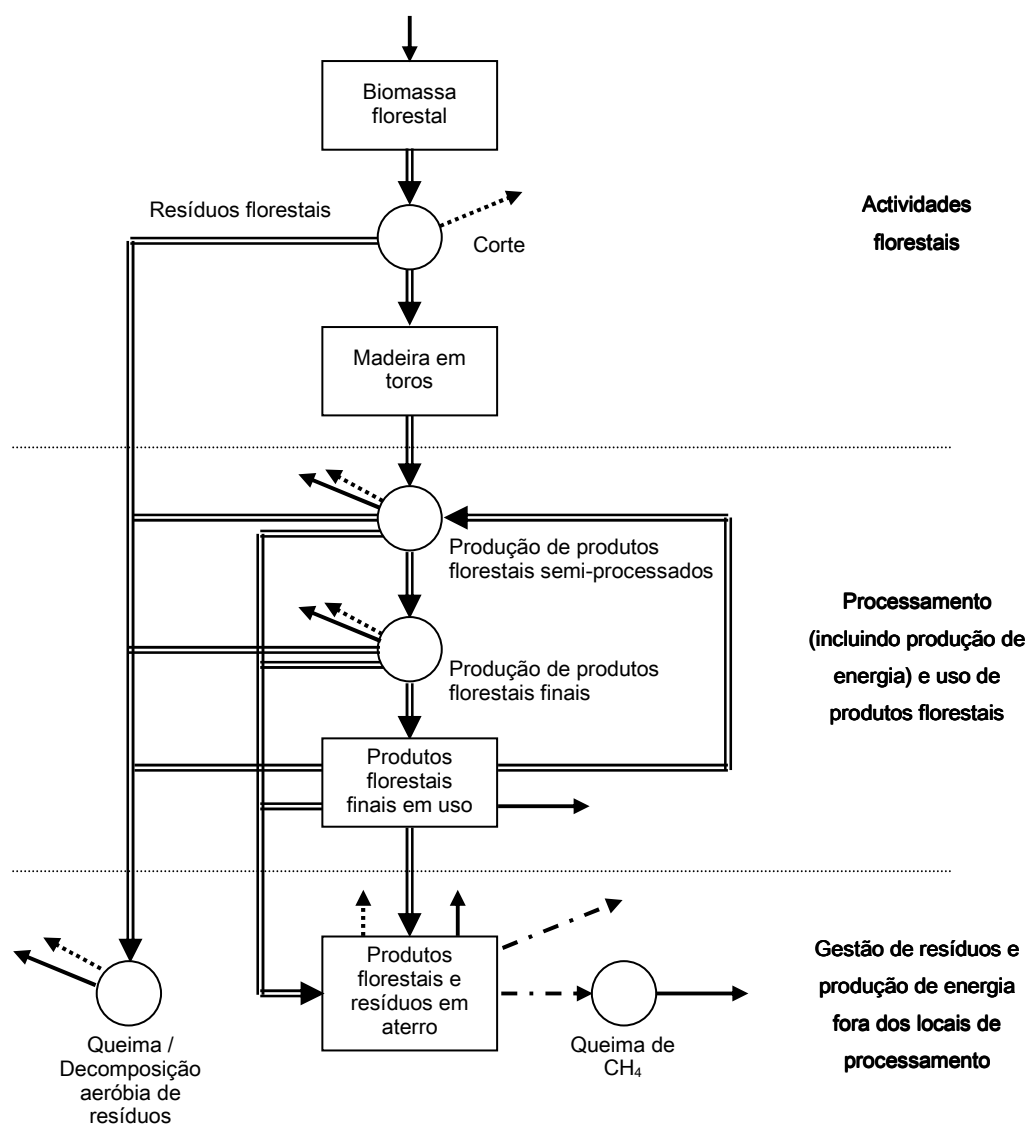
Por acção da fotossíntese, o carbono presente na atmosfera na forma de CO₂ é absorvido pela floresta, onde fica armazenado na forma de celulose, hemiceluloses, lenhina e outros constituintes minoritários, tais como pectinas, amido e compostos orgânicos de baixo peso molecular (esteróis, compostos alifáticos, terpenos, compostos fenólicos, entre outros), normalmente designados de extractáveis (compostos que são extraídos da madeira com solventes orgânicos ou soluções aquosas) (Fengel e Wegener, 1984).

O carbono presente na biomassa florestal é depois transferido, sequencialmente, através de vários reservatórios (UNFCCC, 2003a):

- transferência de carbono da floresta para a madeira em toros cortada ou para a atmosfera por decomposição/queima dos resíduos florestais;
- transferência de carbono da madeira em toros para os produtos florestais semi-processados (por exemplo, madeira serrada, painéis de madeira e papel);
- transferência de carbono dos produtos florestais semi-processados para os produtos florestais finais² (por exemplo, edifícios de madeira, mobiliário, livros e jornais);
- transferência de carbono dos produtos florestais finais para os aterros ou para a atmosfera por decomposição/queima dos produtos florestais descartados.

Ao longo destas fases o carbono originalmente contido na biomassa florestal é libertado para a atmosfera, principalmente como CO₂ e CH₄, embora em alguns reservatórios o carbono fique armazenado durante períodos considerados longos. É o caso dos produtos florestais finais com tempo de vida longo, que podem permanecer em utilização durante várias décadas (IPCC, 2000b), e dos aterros, que recebem não só produtos florestais finais mas também resíduos produzidos nos processos industriais de transformação da madeira em toros, e onde a decomposição destes materiais, em ambiente anaeróbio, é lenta e incompleta (Micales e Skog, 1997).

² Os produtos florestais finais são produtos com usos específicos que não sofrem qualquer transformação posterior a não ser reciclagem, incineração ou decomposição aeróbia ou anaeróbia após utilização (UNFCCC, 2003a).



LEGENDA:

- ====> Fluxo de C derivado da biomassa florestal
- > Emissões/remoções de CO₂ associadas à biomassa
-> Emissões de CO₂ de origem fóssil
- - -> Emissões de CH₄ com origem na biomassa



Processo



Reservatório de carbono
(e processo)

Figura 2.1 - Processos, reservatórios de carbono e emissões mais importantes de GEEs associados ao sector florestal (adaptado de Pingoud *et al.* (2003)). As emissões de CO₂ de origem fóssil resultantes do transporte de produtos florestais não estão representadas.

As emissões de CO₂ e CH₄ a partir da biomassa têm origem em processos de queima e em processos de decomposição aeróbia e anaeróbia (Pingoud *et al.*, 2003). Com efeito, a queima de resíduos florestais e industriais, de biomassa usada na indústria para produção de energia e de produtos florestais em uso e em fim de vida conduz à emissão de CO₂ e, embora não esteja representado na Figura 2.1, a pequenas quantidades de CH₄. Por seu lado, a decomposição aeróbia associada à decomposição dos resíduos florestais no solo, à decomposição natural (apodrecimento) dos produtos florestais em uso e à decomposição dos resíduos industriais e dos produtos florestais descartados em estações de compostagem, também é um processo de emissão de CO₂. Finalmente, a decomposição anaeróbia a que estão sujeitos os resíduos industriais e os produtos florestais em fim de vida, quando são depositados em aterros (aterros sanitários ou lixeiras), origina emissões de CO₂ e de CH₄ (embora nestes locais também ocorra decomposição aeróbia). Apesar de não estar representado na Figura 2.1, pode ainda ocorrer a formação destes gases se o processo de tratamento dos efluentes industriais for do tipo anaeróbio (IPCC, 1997c). O CH₄ produzido nestes processos pode ser transformado em CO₂ caso seja recolhido e queimado.

Uma pequena parte do carbono originalmente presente na biomassa florestal também pode ser emitida sob a forma de COVs e de CO, resultando essencialmente de processos de queima incompleta dos vários tipos de biomassa (Khalfi *et al.*, 2000; IPCC, 2001a). Os COVs são também emitidos pelas árvores (Bonsang *et al.*, 2001; Harrison *et al.*, 2001; Kim, 2001), pelos produtos florestais em uso (Zhu *et al.*, 2001; Manninen *et al.*, 2002; Lattuati-Derieux *et al.*, 2004) e pelos processos de decomposição dos resíduos florestais (Schade e Goldstein, 2001; Potter *et al.*, 2003a) e dos produtos florestais em fim de vida, nomeadamente em estações de compostagem (Gomes, 2001; Komilis *et al.*, 2004) e em aterros (Lin e Hildemann, 1995; Zou *et al.*, 2003).

A queima de combustíveis fósseis origina a libertação para a atmosfera de CO₂, mas também de menores quantidades de outros GEEs, designadamente, CH₄ e N₂O. Estas emissões têm origem nas actividades de gestão florestal, no processamento industrial da madeira, no tratamento dos resíduos industriais e dos produtos florestais em fim de vida, e no transporte de madeira, resíduos industriais e produtos florestais. Esta última fonte de GEEs, por uma questão de simplificação, não está representada na Figura 2.1.

Outras fontes de N₂O no sector florestal são a queima de biomassa (nas suas variadas formas) e os processos de nitrificação e desnitrificação que têm lugar no solo florestal (IPCC, 2003).

2.4.2. No âmbito do Protocolo de Quioto

A contabilização dos GEEs associados à floresta é considerada no âmbito dos Artigos 3.3, 3.4, 6 e 12 do Protocolo de Quioto. Para o primeiro período de cumprimento do Protocolo de Quioto (2008-2012), a tipologia e respectivas definições das actividades florestais incluídas ao abrigo de cada Artigo, assim como as modalidades e regras para a sua contabilização foram aceites na COP-7, nos denominados Acordos de Marraquexe (UNFCCC, 2002).

Assim, no âmbito do Artigo 3.3 do Protocolo de Quioto, são de contabilização obrigatória no primeiro período de cumprimento, as emissões e as remoções de GEEs resultantes das actividades de florestação, reflorestação e desflorestação, que ocorram entre 1 de Janeiro de 1990 e 31 de Dezembro de 2012 e sejam directamente induzidas pelo Homem. Segundo as definições acordadas em Marraquexe, a florestação consiste na conversão para floresta³ de solo que não é ocupado por floresta há pelo menos 50 anos, enquanto que a reflorestação corresponde à conversão para floresta de solo não florestado (em 31 de Dezembro de 1989) mas que já foi ocupado por floresta. As actividades humanas susceptíveis de induzir a florestação e a reflorestação incluem a plantação, a sementeira e/ou a promoção da sementeira natural. Por sua vez, a desflorestação é a conversão de solo florestado em solo não florestado.

Por seu lado, o Artigo 3.4 do Protocolo de Quioto permite, no primeiro período de cumprimento, a contabilização voluntária das emissões e das remoções de GEEs associadas às actividades de gestão florestal, realizadas a partir de 1990. É entendido por gestão florestal o sistema de práticas de gestão e uso do solo florestal que visam assegurar, de um modo sustentável, as funções ecológicas, económicas e sociais da floresta. É de notar que, para Portugal, no primeiro período de cumprimento, as actividades de gestão florestal consideradas no âmbito do Artigo 3.4 e nos projectos de implementação conjunta (IC) não podem exceder, em média, o valor de 0,22 Mt C ano⁻¹.

Nos Artigos 6 e 12 do Protocolo de Quioto são previstos, respectivamente, a IC e o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), dois dos mecanismos de flexibilidade reconhecidos pelo Protocolo para atingir, com menores custos globais, os objectivos de redução das emissões de GEEs. Na IC, qualquer país do Anexo I da CQNUAC pode receber créditos de emissão pelo facto de realizar, em qualquer outro país desse mesmo Anexo, projectos destinados a reduzir as emissões antropogénicas de GEEs ou a aumentar as remoções antropogénicas desses mesmos gases. O

³ Segundo os Acordos de Marraquexe, define-se como floresta uma área de solo, com um mínimo de 0,05 a 1,0 ha, com um grau de cobertura das copas superior a 10-30% e com árvores que, na maturidade e naquele local, podem atingir uma altura entre 2 e 5 m.

MDL é um mecanismo semelhante à IC, mas difere desta no facto de os projectos serem realizados em países não pertencentes ao Anexo I, contribuindo assim também para o desenvolvimento sustentável desses países. Os projectos de IC e MDL devem conduzir a reduções das emissões ou aumentos das remoções de GEEs que não ocorreriam se não fossem promovidos.

Os projectos de IC podem envolver todas as actividades florestais permitidas no âmbito dos Artigos 3.3 e 3.4. As práticas consideradas no âmbito da actividade de gestão florestal podem incluir, por exemplo, a adopção de rotações mais longas, de espécies florestais específicas e de sistemas silvícolas específicos, bem como a exclusão do fogo e de doenças (Rosenbaum *et al.*, 2004). Os projectos iniciados a partir do ano 2000 que preencham os requisitos da IC podem ser listados como tal, mas as unidades de redução de emissão só serão reconhecidas a partir de 2008.

No âmbito dos projectos de MDL apenas as actividades de florestação e reflorestação são elegíveis. As reduções de emissões certificadas no âmbito do MDL são reconhecidas para projectos estabelecidos a partir do ano 2000. Também neste caso foi estabelecido um limite para os créditos que os países podem obter em projectos de MDL, e que foi fixado em 1% das emissões no ano base (1990) para cada ano do primeiro período de cumprimento.

A acumulação de carbono nos produtos florestais não será considerada no primeiro período de cumprimento do Protocolo de Quioto (UNFCCC, 2002), devido ao estado incipiente das metodologias de cálculo (UNFCCC, 2003b; UNFCCC, 2004). Porém, o Protocolo considera as emissões de CH₄ resultantes da degradação dos produtos florestais em aterro e as emissões de CH₄ e N₂O decorrentes da queima de produtos florestais, pois são emissões abrangidas pelas “*Revised 1996 IPCC Guidelines*” (IPCC, 1997a; IPCC, 1997b; IPCC, 1997c), a metodologia recomendada no Protocolo de Quioto para o cálculo das emissões e remoções de GEEs (por uma questão de simplificação, este documento passará a ser designado por *IPCC Guidelines*).

As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O associadas à queima dos combustíveis fósseis no sector florestal, nas actividades mencionadas no ponto 2.4.1, são incluídas nas *IPCC Guidelines* e, portanto, no Protocolo de Quioto. O mesmo sucede com as emissões de CH₄ e N₂O decorrentes da queima de biomassa, nas suas variadas formas.

É de notar que as emissões de CO₂ com origem na queima de biomassa não são consideradas no âmbito do Protocolo de Quioto. Caso fossem consideradas, este facto originaria uma situação de dupla contagem de emissões já que, de acordo com as *IPCC Guidelines*, essas emissões são contabilizadas no balanço de CO₂ da floresta, e ocorrem no momento em que a biomassa florestal é cortada (IPCC, 1997c).

2.5. Balanço de carbono na floresta

2.5.1. Importância das florestas ao nível global

Cerca de metade do carbono libertado anualmente para a atmosfera pela combustão de combustíveis fósseis permanece acumulado na atmosfera, sendo o restante removido da atmosfera pelos oceanos e pelos ecossistemas terrestres (IPCC, 2000b; Prentice *et al.*, 2001; Houghton, 2002b; House *et al.*, 2003) (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Balanço global de carbono (em Pg C ano⁻¹) segundo o último relatório de avaliação do IPCC (Prentice *et al.*, 2001) e estimativas mais recentes de House *et al.* (2003).

	Prentice <i>et al.</i> (2001)		House <i>et al.</i> (2003)	
	Década de 80	Década de 90	Década de 80	Década de 90
1. Aumento na atmosfera	3,3 ± 0,1	3,2 ± 0,1	3,3 ± 0,1	3,2 ± 0,1
2. Emissões fósseis	5,4 ± 0,3	6,4 ± 0,4	5,4 ± 0,3	6,3 ± 0,4
3. Remoção pelos oceanos	-1,9 ± 0,6	-1,7 ± 0,5	-1,8 ± 0,8	-2,1 ± 0,7
4. Remoção pelos ecossistemas terrestres = 1 - (2 + 3)	-0,2 ± 0,7	-1,4 ± 0,7	-0,3 ± 0,9	-1,0 ± 0,8
5. Alteração do uso do solo	1,7 (0,6 a 2,5)	Não disponível	0,9 a 2,8	1,4 a 3,0
6. Remoção terrestre residual = 4 - 5	-1,9 (-3,8 a 0,3)	Não disponível	-4,0 a -0,3	-4,8 a -1,6

Nota: valores positivos representam fluxos para a atmosfera e valores negativos representam fluxos da atmosfera.

De acordo com o último relatório de avaliação do IPCC (Prentice *et al.*, 2001), os ecossistemas terrestres foram um pequeno sumidouro de carbono (0,2 Pg C ano⁻¹) durante a década de 80 e um sumidouro consideravelmente superior (1,4 Pg C ano⁻¹) durante a década de 90 (Tabela 2.1). Esta remoção de carbono é o balanço entre as emissões de carbono resultantes das alterações no uso do solo, principalmente desflorestação nos trópicos (Houghton, 1999; Houghton *et al.*, 2000; Prentice *et al.*, 2001; Houghton, 2003), e a remoção residual de carbono, normalmente designada de “*missing sink*”. As causas desta remoção residual, que não são ainda bem conhecidas, devem incluir alterações nas práticas de gestão do solo, o recrescimento natural e os efeitos de fertilização provocados pelo aumento da concentração de CO₂ na atmosfera e da deposição de azoto (Dolman *et al.*, 2001; Prentice *et al.*, 2001; Houghton, 2002a). Segundo Prentice *et al.* (2001), as emissões de carbono resultantes das alterações no uso do solo totalizaram cerca de 1,7 Pg C ano⁻¹ na década de 80, pelo que a remoção residual de carbono foi de cerca de 1,9 Pg C ano⁻¹.

Mais recentemente, o balanço global de carbono foi revisto por House *et al.* (2003), à luz dos novos desenvolvimentos verificados na quantificação dos fluxos que o compõem, nomeadamente ao nível da remoção de carbono pelos oceanos e das emissões resultantes das alterações no uso do solo (Tabela 2.1). Assim, segundo Bopp *et al.* (2002) e Le Quéré *et al.* (2003), a remoção de carbono pelos oceanos foi ligeiramente inferior na década de 80 (1,8 Pg C ano⁻¹) e superior na década de 90 (2,1 Pg C ano⁻¹) à estimada por Prentice *et al.* (2001). Plattner *et al.* (2002) também confirmam esta tendência, propondo que a remoção de carbono pelos oceanos foi de 1,7 Pg C ano⁻¹ na década de 80 e de 2,4 Pg C ano⁻¹ na década de 90. Deste modo, face aos valores apresentados por Prentice *et al.* (2001), a remoção de carbono pelos ecossistemas terrestres foi ligeiramente superior na década de 80 (0,3 Pg C ano⁻¹), mas diminuiu para 1,0 Pg C ano⁻¹ na década de 90. Por outro lado, Houghton (2003) reavaliou as emissões resultantes das alterações no uso do solo na década de 80, tendo obtido valores superiores aos de Prentice *et al.* (2001), e quantificou este fluxo de carbono para a década de 90 (Tabela 2.1). Deste modo, a remoção residual de carbono pelos ecossistemas terrestres estimada por House *et al.* (2003) foi de 0,3 a 4,0 Pg C ano⁻¹ na década de 80 e de 1,6 a 4,8 Pg C ano⁻¹ na década de 90.

Como já foi mencionado, as causas da remoção residual de carbono pelos ecossistemas terrestres permanecem desconhecidas, à semelhança do que sucede com a sua exacta magnitude e localização. Contudo, vários estudos efectuados com metodologias distintas, apontam no sentido de que esta remoção de carbono ocorre principalmente nas florestas dos trópicos e do hemisfério norte (Ciais *et al.*, 1995a; Keeling *et al.*, 1996; Fan *et al.*, 1998; Phillips *et al.*, 1998; Bousquet *et al.*, 1999; Fung, 2000; Myneni *et al.*, 2001; Dong *et al.*, 2003).

A remoção residual de carbono pelas florestas é realizada tanto pela vegetação como pelos solos, embora à escala global seja difícil determinar a contribuição individual de cada um destes componentes. Quanto aos *stocks* globais de carbono na floresta, foram estimados por Dixon *et al.* (1994) em cerca de 1146 Pg C, dos quais 787 Pg C (dois terços do total) foram atribuídos aos solos e 359 Pg C à vegetação. Segundo estes autores, as florestas boreais armazenam 49% do carbono, as florestas tropicais 37% e as florestas temperadas 14%. No último relatório de avaliação do IPCC (Prentice *et al.*, 2001) foram apresentados valores para os *stocks* globais de carbono na floresta superiores a estes, quer para a vegetação (da ordem dos 536 Pg C) quer para os solos (da ordem dos 704 Pg C). Mais recentemente, Kauppi (2003) concluiu que os *stocks* de carbono na vegetação devem ser mais baixos do que os estimados pelos outros autores, variando na gama dos 233 a 339 Pg C.

2.5.2. Métodos de cálculo do balanço de carbono na floresta

Existem vários métodos para quantificar o balanço de carbono na floresta, nomeadamente com base em inventários florestais, medição de fluxos, modelação inversa, detecção remota, modelos e monitorização intensiva.

2.5.2.1. Inventários florestais

No método baseado nos inventários florestais, o balanço de carbono é obtido a partir da variação dos *stocks* de carbono na biomassa. Se a variação dos stocks for positiva significa que há remoção de carbono da atmosfera mas se for negativa significa que há emissão de carbono para a atmosfera (IPCC, 1997b; IPCC, 2003).

Este método é o usado nos inventários nacionais de emissões de GEEs realizados no âmbito da CQNUAC. Tem sido também aplicado fora desse contexto, tanto à escala global (Dixon *et al.*, 1994) como continental (UNECE/FAO, 2000; Goodale *et al.*, 2002; Karjalainen *et al.*, 2003; Liski *et al.*, 2003a; Nabuurs *et al.*, 2003) ou nacional (Kurz *et al.*, 1992; Burschel *et al.*, 1993; Turner *et al.*, 1995; Pingoud *et al.*, 1996; Kurz e Apps, 1999; Fang *et al.*, 2001; Hall *et al.*, 2001; Birdsey e Lewis, 2003; Haripriya, 2003; Pan *et al.*, 2004).

O IPCC, no “*Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*” (GPG LULUCF) (IPCC, 2003), reconhece dois modos distintos para determinar o balanço de carbono na biomassa florestal, com base em dados de inventários florestais:

- método *default* - pela diferença entre o crescimento e as perdas de biomassa (associadas a cortes, fogos e causas naturais);
- método *stock change* - pela diferença entre a biomassa existente em dois inventários florestais consecutivos.

O método baseado nos inventários florestais requer a aplicação de factores de conversão que permitam estimar, a partir dos volumes de madeira, a massa de carbono presente na biomassa florestal total, incluindo os restantes compartimentos das árvores para além do lenho.

Em alguns países existem inventários específicos para os solos (Baritz e Strich, 2000; Pignard *et al.*, 2000), ou os inventários florestais abrangem também os solos (FGAD, 2001), podendo a variação dos *stocks* de carbono nos solos ser determinada a partir da diferença dos *stocks* de carbono entre dois inventários consecutivos. Contudo, os erros associados a este método são, dum modo geral elevados, já que a variação dos *stocks* de carbono no solo ao longo do tempo são

pequenas comparadas com os próprios *stocks* e, além disso, a variabilidade espacial dos *stocks* de carbono no solo é elevada (Houghton, 2002b; Lindner *et al.*, 2004).

2.5.2.2. Medição de fluxos

O método das flutuações instantâneas (*eddy covariance*) permite, através da combinação de analisadores de CO₂ de resposta rápida e de anemómetros sónicos, medir o fluxo instantâneo de carbono entre o ecossistema e a atmosfera, denominado de troca líquida do ecossistema⁴. A integração temporal deste fluxo permite estimar a produção líquida do ecossistema, ou seja, o balanço de carbono do ecossistema (vegetação e solo), excluindo as perdas de carbono decorrentes dos cortes, fogos e outras perturbações.

A produção líquida do ecossistema é assim obtida para uma área relativamente pequena em torno da torre de medição dos fluxos (Baldocchi e Harley, 1997; Jarvis *et al.*, 1997; Lindroth *et al.*, 1998; Malhi *et al.*, 1998; Aubinet *et al.*, 2000; Valentini *et al.*, 2000; Pereira *et al.*, 2003), embora seja possível efectuar extrapolações para escalas superiores, nomeadamente a europeia (Martin *et al.*, 1998; Papale e Valentini, 2003).

Este método apresenta a particularidade de permitir estudar a fisiologia do ecossistema, isto é, o modo como a produção líquida do ecossistema é afectada por perturbações ambientais, nomeadamente temperatura, humidade e radiação, e alterações na gestão dos ecossistemas (Kellomäki e Wang, 2000; Kramer *et al.*, 2002; Baldocchi, 2003).

2.5.2.3. Modelação inversa

O método de modelação inversa permite obter o balanço de carbono nos ecossistemas terrestres a partir das concentrações e da composição isotópica de CO₂ e O₂ na atmosfera, medidas nas cerca de 100 estações de amostragem distribuídas pelo globo. Combinando este tipo de

⁴ A assimilação de carbono através da fotossíntese é a produção primária bruta. A produção primária líquida é a fracção da produção primária bruta que resulta na produção de biomassa após subtracção da respiração autotrófica. Subtraindo à produção primária líquida a respiração dos organismos presentes no solo obtém-se a produção líquida do ecossistema. Finalmente, a produtividade líquida do bioma é obtida descontando à produção líquida do ecossistema as perdas devidas a cortes, fogos e outras perturbações.

informação com o conhecimento das emissões fósseis de CO₂ e a utilização de modelos meteorológicos de transporte e de dispersão, é possível obter um mapa com a distribuição espacial das fontes e sumidouros de CO₂ no planeta (Ciais *et al.*, 1995a; Fan *et al.*, 1998; Bousquet *et al.*, 1999; Rayner *et al.*, 1999; Bousquet *et al.*, 2000; Gurney *et al.*, 2002; Rödenbeck *et al.*, 2003), embora os resultados mais robustos permitam apenas uma repartição das fontes e sumidouros entre as latitudes médias e altas do hemisfério norte e sul e os trópicos (Prentice *et al.*, 2001).

A monitorização da razão ¹³C/¹²C e O₂/N₂ fornece informação adicional que permite efectuar a distinção entre os fluxos atmosfera-oceanos e atmosfera-ecossistemas terrestres (Ciais *et al.*, 1995a; Ciais *et al.*, 1995b; Rayner *et al.*, 1999; Battle *et al.*, 2000; Bopp *et al.*, 2002). Se a este último fluxo forem deduzidas as emissões de carbono decorrentes das alterações no uso do solo é possível obter a remoção residual de carbono associada aos ecossistemas terrestres na sua totalidade (Prentice *et al.*, 2001).

2.5.2.4. Detecção remota

A detecção remota tem vindo a ser utilizada desde o início dos anos 80 para observação da vegetação à escala global, com um nível de resolução espacial relativamente elevado e uma cobertura temporal consistente (Tucker *et al.*, 1986; Defries *et al.*, 2000). Todavia, os satélites não medem directamente a biomassa, mas sim fluxos de energia reflectidos ou emitidos pela vegetação. Na detecção remota óptica passiva, é comum a utilização do *normalized difference vegetation index* (NDVI), dado pela diferença entre a reflectância da luz solar pela vegetação na região do vermelho e do infra-vermelho. Este índice mede assim a quantidade de energia absorvida pelos pigmentos das folhas, tais como a clorofila, estando correlacionado com a fracção de radiação fotossinteticamente activa absorvida pelas árvores e, consequentemente, com a área e a biomassa foliares e o potencial de fotossíntese da vegetação (Myneni *et al.*, 1995; Zou *et al.*, 2003). Os *stocks* de carbono na biomassa (e a sua evolução) podem ser estimados a partir do NDVI através de correlações empíricas estabelecidas com base em dados de inventários florestais (Myneni *et al.*, 2001; Dong *et al.*, 2003). O NDVI tem também sido usado para estimar a produção líquida do ecossistema através de modelos que entram em consideração com variáveis ambientais, tais como a temperatura, a radiação solar e a humidade (Potter, 1999; Veroustraete *et al.*, 2002; Nemani *et al.*, 2003; Potter *et al.*, 2003b).

No futuro, a utilização de detecção remota óptica activa permitirá obter directamente informação sobre a topografia do terreno e a estrutura da floresta, nomeadamente a altura e a estrutura vertical das árvores (Hese *et al.*, 2005).

2.5.2.5. Modelos

Existem vários tipos de modelos que permitem determinar os fluxos e os *stocks* de carbono nos ecossistemas florestais, podendo operar a diferentes escalas espaciais e temporais e integrar diferentes reservatórios.

Os modelos do tipo *bookkeeping* incluem modelos geralmente usados ao nível dos povoamentos, que têm como dados de entrada as taxas de crescimento das árvores, estabelecidas com base em tabelas de crescimento (Cannell e Dewar, 1995; Ford-Robertson, 1996; Schlamadinger *et al.*, 1997; Beets *et al.*, 1999; Brack e Richards, 2002; Masera *et al.*, 2003; Zhang e Xu, 2003). Outros dados de entrada normalmente requeridos neste tipo de modelos incluem a duração das rotações e as taxas de decomposição da biomassa nos diferentes reservatórios considerados. Estes modelos permitem ainda analisar diferentes opções de gestão florestal (Marland *et al.*, 1997; Schlamadinger e Marland, 1999; Kaipainen *et al.*, 2004).

Os modelos do tipo *bookkeeping* podem também complementar os balanços de carbono obtidos com base em inventários florestais, simulando os fluxos de carbono nos reservatórios não caracterizados nos inventários florestais e/ou analisando diferentes cenários futuros (Kurz *et al.*, 1992; Turner *et al.*, 1995; Kurz e Apps, 1999; Chojnacky e Heath, 2002; Heath *et al.*, 2002; Karjalainen *et al.*, 2002; Liski *et al.*, 2002; Birdsey e Lewis, 2003; Haripriya, 2003; Karjalainen *et al.*, 2003).

Os modelos baseados em processos exigem dados de entrada mais detalhados, nomeadamente características do local e ambientais, a partir das quais é simulado o crescimento das árvores. Estes modelos integram assim o conhecimento de processos fisiológicos e ecológicos, permitindo modelar a resposta do ecossistema face a alterações ambientais. Podem ser aplicados a espécies ou regiões específicas (Karjalainen, 1996; Talkkari e Hypén, 1996; Fischlin e Gyalistras, 1997; Smith *et al.*, 1997; Kirschbaum *et al.*, 1998; Kirschbaum, 1999; Grant e Nalder, 2000; Pinard e Cropper, 2000; Schimel *et al.*, 2000; Thornley e Cannell, 2000; Hoff *et al.*, 2002) ou, por outro lado, constituir modelos dinâmicos da vegetação global, que combinam processos biogeoquímicos, biofísicos e/ou biogeográficos (Hurt *et al.*, 1998; Cramer *et al.*, 1999; Svirezhev, 1999; McGuire *et al.*, 2000; White *et al.*, 2000a; White *et al.*, 2000b; Sitch *et al.*, 2003).

2.5.2.6. Monitorização intensiva

O método de monitorização intensiva consiste em avaliar periodicamente, em áreas delimitadas, determinadas propriedades dos povoamentos florestais que permitam gerar informação sobre os

fluxos e *stocks* de carbono nesses mesmos povoamentos. Assim, podem ser efectuadas medições ao nível da biomassa, aérea ou radicular, tais como o seu crescimento, a sua composição química ou a sua divisão em diferentes compartimentos (Mund *et al.*, 2002; De Vries *et al.*, 2003; Law *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2003). As medições podem também incidir sobre características do solo, nomeadamente a sua composição química ou as taxas de decomposição da matéria orgânica (Moro e Domingo, 2000; Turner e Lambert, 2000; Conkling *et al.*, 2002; Palmer *et al.*, 2002; Vesterdal *et al.*, 2002). Este método é frequentemente utilizado para avaliar os efeitos de diferentes práticas de gestão florestal (Azevedo, 2000; Bauhus *et al.*, 2002; Johnson *et al.*, 2002; Madeira *et al.*, 2002b; Mendham *et al.*, 2003).

2.6. Balanço de carbono nos produtos florestais

2.6.1. Importância dos produtos florestais ao nível global

Os *stocks* globais de carbono nos produtos florestais foram quantificados em cerca de 4,2 Pg C pelo IPPC (IPCC, 1995b). Estimativas dentro da mesma ordem de grandeza foram também obtidas por Matthews *et al.* (1996) (2 a 8 Pg C) e Pingoud *et al.* (2003) (1,5 a 3,3 Pg C, como se constata pela Figura 2.2, mas excluindo produtos florestais em aterro), enquanto que Sampson *et al.* (1993) sugerem valores mais elevados, entre 10 e 20 Pg C.

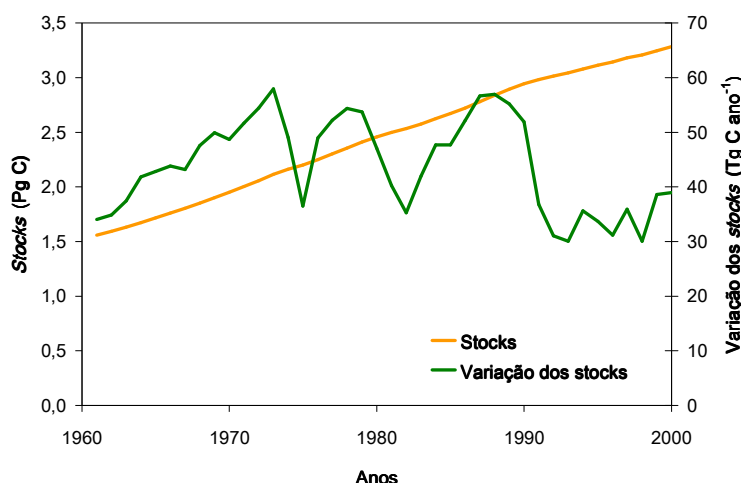


Figura 2.2 - Valores estimados por Pingoud *et al.* (2003) para os *stocks* e para a variação dos *stocks* de carbono nos produtos florestais em uso ao nível global.

Os resultados de vários estudos apontam no sentido de que os *stocks* globais de carbono nos produtos florestais têm vindo a aumentar. Segundo o IPPC (IPCC, 1995b), esse aumento foi de cerca de 26 Tg C ano⁻¹ no início dos anos 90. Pingoud *et al.* (2003) obtiveram estimativas que variam entre 30 e quase 60 Tg C ano⁻¹, no período entre 1961 e 2000, sendo aproximadamente de 50 Tg C ano⁻¹, no ano 1990 e de quase 39 Tg C ano⁻¹ no ano 2000 (Figura 2.2), tendo excluído os produtos florestais depositados em aterro. Valores mais elevados, de 139 Tg C ano⁻¹ e 117 Tg C ano⁻¹, foram apurados para o ano 1990, por Winjum *et al.* (1998) e Hashimoto *et al.* (2002), respectivamente.

A contribuição individual dos produtos florestais em aterro para os *stocks* e variações dos *stocks* globais de carbono nos produtos florestais não foi ainda determinada.

As divergências existentes entre as diferentes estimativas dos *stocks* e variações dos *stocks* globais de carbono nos produtos florestais são devidas ao uso de diferentes metodologias de cálculo, assim como aos pressupostos que lhes estão subjacentes (UNFCCC, 2003a).

2.6.2. Métodos de cálculo do balanço de carbono nos produtos florestais

Os métodos para o cálculo da variação dos *stocks* de carbono nos produtos florestais, consoante o tipo de dados que utilizam, podem ser de três tipos: *inflow-outflow*, estimativa directa dos *stocks* e estimativa directa das emissões (UNFCCC, 2003a). O primeiro método também é designado por método dos fluxos (Flugsrud *et al.*, 2001; IPCC, 2003; Pingoud *et al.*, 2003). Estes métodos originam resultados semelhantes desde que as fontes dos dados necessários a cada um deles sejam completas, exactas e consistentes (Flugsrud *et al.*, 2001).

2.6.2.1. Métodos *inflow-outflow*

Nos métodos *inflow-outflow*, a variação dos *stocks* de carbono nos produtos florestais é determinada a partir da diferença entre os fluxos de entrada e de saída de carbono, do reservatório constituído pelos produtos florestais. Existem dois tipos de métodos *inflow-outflow* distintos, consoante o modo como são obtidos os fluxos de saída de carbono: com base nos tempos de vida dos produtos florestais ou por observação directa (UNFCCC, 2003a).

2.6.2.1.1. Método baseado nos tempos de vida

2.6.2.1.1.1. Descrição do método

No método baseado nos tempos de vida dos produtos florestais, o fluxo de entrada de carbono no reservatório de produtos em uso é obtido a partir do consumo de produtos florestais, enquanto que o fluxo de saída de carbono é determinado com base nos tempos de vida dos produtos em uso (antes de serem enviados para o seu destino final ou reciclados). O fluxo de entrada de carbono no reservatório de produtos em aterro é obtido a partir do fluxo de saída de carbono do reservatório de produtos em uso e da fracção desse fluxo que tem o aterro como destino final. O fluxo de saída de carbono do reservatório de produtos em aterro é também estimado com base nos tempos de vida dos produtos em aterro.

Este método tem sido o mais utilizado para estimar as variações dos *stocks* de carbono nos produtos florestais ao nível global, nacional e regional. Na Tabela A.1 do Anexo A são listados vários estudos onde este método foi aplicado, sendo ainda indicadas as fronteiras geográficas a que respeitam, bem como as categorias de produtos florestais consideradas e os respectivos tempos de vida e perfil de decomposição.

Alguns estudos consideram apenas a acumulação de carbono nos produtos em uso, ignorando os produtos em aterro (Burschel *et al.*, 1993; Hoen e Solberg, 1994; Cannell e Dewar, 1995; Ford-Robertson, 1996; Gjesdal *et al.*, 1996; Nabuurs, 1996; Ford-Robertson *et al.*, 1999; Jaakko Pöyry Consulting Asia-Pacific, 1999; Jaakko Pöyry Consulting Asia-Pacific, 2000; Flugsrud *et al.*, 2001; Karjalainen *et al.*, 2002; Nabuurs e Schelhaas, 2002; Poker *et al.*, 2002; Nabuurs *et al.*, 2003; Pingoud *et al.*, 2003; Prieur e Combarrous, 2003), enquanto outros estudos consideram o carbono acumulado nos dois reservatórios em conjunto (Flugsrud *et al.*, 1998; Nabuurs e Sikkema, 1998; Winjum *et al.*, 1998; Jäkel *et al.*, 1999; Obersteiner, 1999; Nabuurs e Sikkema, 2001; Hashimoto *et al.*, 2002), e outros efectuam o cálculo do carbono acumulado nestes reservatórios em separado (Kurz *et al.*, 1992; Karjalainen *et al.*, 1994; Harmon *et al.*, 1996; Pingoud *et al.*, 1996; Pussinen *et al.*, 1997; Skog e Nicholson, 1998; Apps *et al.*, 1999; Karjalainen *et al.*, 1999; Skog e Nicholson, 2000; Haripriya, 2001; Eggers, 2002; Hashimoto e Moriguchi, 2004; Skog *et al.*, 2004).

Em alguns dos estudos que consideram a acumulação de carbono nos produtos em aterro é efectuada uma distinção entre a fracção de produtos que se decompõe e a fracção que não se decompõe em condições anaeróbias, formando um reservatório permanente de carbono (Kurz *et al.*, 1992; Pingoud *et al.*, 1996; Skog e Nicholson, 1998; Apps *et al.*, 1999; Skog e Nicholson, 2000; Hashimoto e Moriguchi, 2004; Skog *et al.*, 2004).

O tempo de vida dos produtos florestais é normalmente expresso de três modos diferentes: tempo de semi-vida, tempo de vida médio e tempo de vida máximo. O tempo de semi-vida é o tempo decorrido até que metade dos produtos florestais colocados em uso ou em aterro sejam descartados, decompostos ou queimados (Pingoud *et al.*, 2003). O tempo de vida médio é o tempo que, em média, um produto está em uso ou em aterro (UNFCCC, 2003a). O tempo de vida máximo é o tempo que demora até que a totalidade dos produtos colocados em uso ou em aterro seja descartada, decomposta ou queimada (Sikkema *et al.*, 2002).

Outro aspecto que é importante definir quando se utiliza este método é o perfil da decomposição, um termo genérico que significa o modo como evoluem, ao longo do tempo, os fluxos de saída dos reservatórios de produtos florestais em uso e em aterro. Assim, a decomposição pode ser descrita por uma função linear, exponencial, logística ou de outro tipo.

Quando a decomposição ocorre numa forma linear, é decomposta uma fracção constante dos produtos colocados em uso ou em aterro ao longo do tempo. Nos estudos que consideram este perfil de decomposição, o tempo de vida é normalmente expresso como tempo de vida máximo, e é igual ao inverso da taxa de decomposição (Flugsrud *et al.*, 1998; Nabuurs e Sikkema, 1998; Winjum *et al.*, 1998; Ford-Robertson *et al.*, 1999; Jaakko Pöyry Consulting Asia-Pacific, 1999; Jäkel *et al.*, 1999; Obersteiner, 1999; Jaakko Pöyry Consulting Asia-Pacific, 2000; Flugsrud *et al.*, 2001; Nabuurs e Sikkema, 2001; Hashimoto *et al.*, 2002; Poker *et al.*, 2002).

Quando a decomposição segue uma função exponencial de primeira ordem, em cada ano é decomposta uma fracção proporcional ao *stock* de produtos (Harmon *et al.*, 1996; Nabuurs, 1996; Nabuurs e Schelhaas, 2002; Pingoud *et al.*, 2003; Hashimoto e Moriguchi, 2004; Skog *et al.*, 2004). Neste caso, o tempo de vida é normalmente expresso através do tempo de semi-vida ou do tempo de vida médio. Este último é o inverso da taxa de decomposição.

A função logística tem sido aplicada para determinar a decomposição dos produtos apenas em uso. Neste tipo de decomposição, o tempo de vida é normalmente indicado como tempo de semi-vida. Na Figura 2.3 são apresentados dois tipos de funções logísticas para um tempo de semi-vida de 50 anos. A função designada por “logística 1” é semelhante à usada por Karjalainen *et al.* (1994), Pussinen *et al.* (1997), Karjalainen *et al.* (1999), Haripriya (2001), Eggers (2002) e Karjalainen *et al.* (2002), enquanto a função designada por “logística 2” é semelhante à usada por Skog e Nicholson (2000). A Figura 2.3 apresenta igualmente exemplos das funções linear e exponencial de primeira ordem, também para um tempo de semi-vida de 50 anos.

Kurz *et al.* (1992) e Apps *et al.* (1999) usaram os perfis de decomposição ilustrados na Figura 2.4, os quais não se incluem em nenhuma das categorias acima descritas.

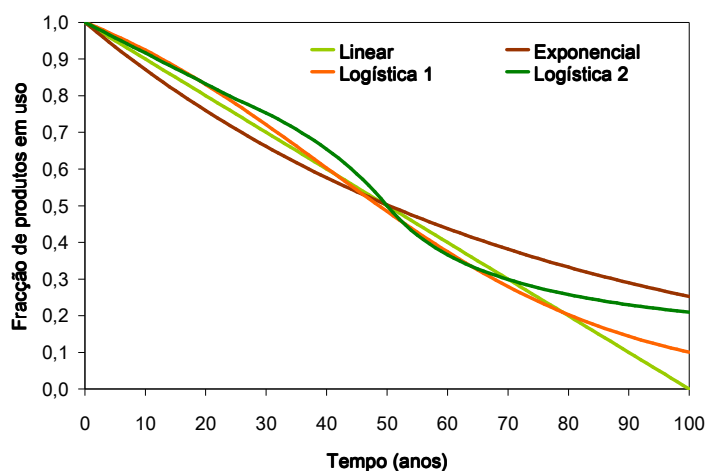


Figura 2.3 - Perfis de decomposição para um tempo de semi-vida de 50 anos.

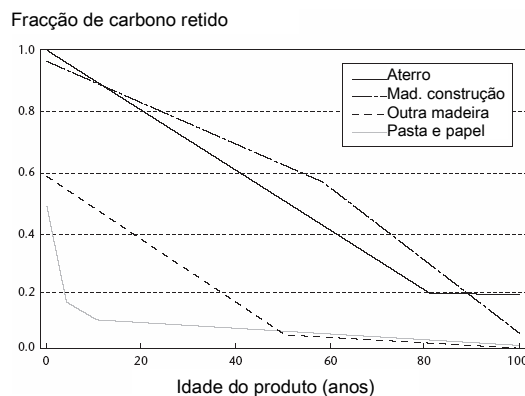


Figura 2.4 - Perfis de decomposição adoptados por Kurz *et al.* (1992) e Apps *et al.* (1999).

O método baseado nos tempos de vida apresenta a vantagem de necessitar de dados de entrada que, de um modo geral, estão facilmente disponíveis, podendo ser a única alternativa para estimar a variação dos *stocks* de carbono nos produtos em aterro (Pingoud *et al.*, 2003). Todavia, este método apresenta algumas fragilidades, já que é difícil avaliar com precisão os tempos de vida e os perfis de decomposição dos produtos em uso, e em especial dos produtos em aterro. Assim, os tempos de vida são hipotéticos ou baseados nas práticas de utilização dos produtos. Por exemplo, no caso da madeira usada na construção, os intervalos de renovação das componentes de madeira nos edifícios constitui uma base para a estimativa do tempo de vida (Pingoud *et al.*, 2003). Os tempos de vida podem também ser obtidos com base no método de estimativa directa dos *stocks* (ponto 2.6.2.2). No caso dos perfis de decomposição, a literatura só refere perfis teóricos sem suporte em informações práticas.

2.6.2.1.1.2. Factores que afectam os tempos de vida dos produtos florestais

O tempo de vida dos produtos florestais em uso está intimamente relacionado com a função que desempenham. Assim, o mobiliário de madeira, a madeira usada em edifícios ou os livros, podem manter-se em utilização durante décadas, ou mesmo séculos, enquanto que outros produtos, como os jornais ou as paletes de madeira, têm tempos de vida bastante mais curtos, que podem ser de apenas alguns dias.

Contudo, e especialmente para os produtos usados em aplicações onde se espera que tenham um tempo de vida longo, o tempo de vida pode ser condicionado pela durabilidade natural dos produtos, que pode ser definida como a capacidade de resistirem à acção de agentes decompositores (Gurnagul *et al.*, 1993; Nireki, 1996). Os agentes decompositores são diferentes para os produtos de madeira sólida e para os produtos de papel.

Em virtude da sua estrutura e composição química, os produtos de madeira sólida são particularmente susceptíveis ao ataque de agentes biológicos: fungos, insectos, bactérias, crustáceos e moluscos. Nas zonas temperadas os fungos são particularmente importantes, enquanto que nas zonas tropicais as térmitas são o maior problema (Morris, 1998). Estes organismos alimentam-se de materiais orgânicos complexos constituintes das componentes estruturais e não estruturais da madeira, mas só se desenvolvem se forem garantidas as suas necessidades em termos de condições de humidade e de temperatura. A maioria dos fungos desenvolve-se a temperaturas entre os 15 e os 40°C, com uma gama óptima entre 21 e 32°C, e com teores de humidade nos produtos acima do ponto de saturação da fibra⁵, que normalmente é de 25 - 30% (Carll e Highley, 1999). Os insectos perfuradores da madeira e as térmitas também preferem ambientes quentes e húmidos, embora alguns ataquem madeira seca (Morris, 1998; Davies *et al.*, 2002).

A durabilidade natural associada aos produtos de madeira sólida depende da durabilidade natural da madeira que os originou, a qual varia de espécie para espécie (Highley, 1995; Jesus *et al.*, 1998; Van Acker e Stevens, 2003; Paes *et al.*, 2004). Conforme foi referido, a maior susceptibilidade de algumas espécies ao ataque de agentes biológicos está relacionada com a estrutura e composição química da madeira. Assim, as espécies de folhosas tendem a ser mais susceptíveis ao ataque de alguns tipos de fungos do que as resinosas, dado que, para além de conterem menores quantidades de lenhina (poucos organismos conseguem decompor efectivamente a lenhina), esta é mais facilmente degradada (Morris, 1998). Alguns autores

⁵ O ponto de saturação da fibra é o teor de humidade em equilíbrio quando a humidade relativa do ar é de cerca de 100% (Carll e Highley, 1999).

sugerem ainda que as madeiras com maior densidade são geralmente mais resistentes ao ataque de térmitas (Arango *et al.*, 2004; Peralta *et al.*, 2004).

A durabilidade natural dos produtos de madeira sólida depende ainda da parte do lenho usada na sua produção, já que o cerne é normalmente mais resistente ao ataque de fungos e de insectos do que o borne, devido ao menor teor em nutrientes (Mackensen e Bauhus, 1999) e à presença de extractáveis, que são tóxicos e/ou repelentes para aqueles organismos (Highley, 1995; Harju *et al.*, 2003; Aloui *et al.*, 2004). Schultz e Nicholas (2000) sugerem ainda que os extractáveis presentes no cerne protegem contra ataques de fungos, pelo facto de apresentarem propriedades anti-oxidantes, removendo os radicais livres que alguns tipos de fungos necessitam para romper as paredes celulares da madeira. Na maioria das espécies, a capacidade de produção de extractáveis aumenta com a idade das árvores, fazendo com que a parte exterior do cerne seja mais resistente à decomposição do que a parte interior, já que os extractáveis são formados durante o processo de crescimento da árvore, mais concretamente, quando os anéis mais interiores do borne se convertem em cerne (Morris, 1998). A durabilidade natural do cerne varia consideravelmente de espécie para espécie, dependendo sobretudo da quantidade e tipo de extractáveis presentes (Mackensen e Bauhus, 1999).

Por outro lado, é geralmente aceite que os painéis de madeira apresentam uma maior resistência à decomposição por fungos do que a madeira que lhes deu origem, devido à presença de adesivos que protegem as fibras de madeira da humidade (Curling e Murphy, 1999; Kartal e Green III, 2003). Contudo, Chung *et al.* (1999) mostraram que os painéis de partículas eram tão susceptíveis ao ataque de fungos quanto a madeira que os originou.

A durabilidade pode ser prolongada se a madeira for sujeita a tratamento químico com preservantes, sendo os mais comuns o creosoto e sais inorgânicos como o CCA (*chromated copper arsenate*), que funcionam como biocidas (NZFOA, 1992; Barillari, 2002). O revestimento da madeira com tintas, vernizes e outros repelentes de água, protegem a madeira contra a penetração de água (Kropf, 1996), aumentando também a sua durabilidade. Outra forma de incrementar a durabilidade da madeira consiste em submetê-la a tratamento térmico, no qual a madeira é sujeita a temperaturas próximas ou acima dos 200°C durante várias horas numa atmosfera com baixo teor de oxigénio (Homan, 2004). As alterações químicas induzidas por este tratamento têm um efeito no aumento da durabilidade da madeira (Järmsä e Viitaniemi, 2001; Militz e Tjeerdsma, 2001; Rapp e Sailer, 2001; Vernois, 2001; Kamdem *et al.*, 2002), embora estas alterações não sejam exactamente conhecidas. Järmsä e Viitaniemi (2001) referem que há degradação química dos componentes da madeira com formação de novos compostos, enquanto Vernois (2001) sugere que há eliminação de alguns dos nutrientes dos fungos. Este autor refere ainda que há uma diminuição significativa da capacidade de absorção da humidade, o que impede o desenvolvimento dos fungos.

A madeira das espécies *E. globulus* e *P. pinaster* é, de um modo geral, considerada pouco durável.

Com efeito, segundo Cruz *et al.* (1998), o borne de *P. pinaster* é pouco durável e o cerne é pouco a moderadamente durável face ao ataque de fungos. Em relação ao ataque de insectos (térmitas e insectos perfuradores - *Anobium* spp. e *Hylotrupes bajulus*), o borne e o cerne são susceptíveis, excepto no caso de térmitas, em que o cerne é moderadamente durável. Oliveira (1999) refere que a madeira de *P. pinaster* apresenta alta vulnerabilidade aos insectos perfuradores *Anobium* spp. e *Hylotrupes bajulus* quando velha, bem como a fungos e térmitas em usos exteriores. Do mesmo modo, Alfonso *et al.* (2004) refere que a madeira de *P. pinaster* é pouco resistente a fungos. Cameron (2003) classifica a madeira de *P. pinaster* de pouco durável, com um tempo de vida máximo de 5 anos se estiver em contacto com o solo. Contudo, refere que o tempo de vida pode atingir os 20 anos se forem aplicados preservantes.

Relativamente à madeira de *E. globulus*, Goes (1991) refere que esta não é considerada de grande duração, enquanto que Chudnoff (1984) indica que o cerne de *E. globulus* é moderadamente resistente à decomposição e o borne é vulnerável ao ataque de insectos. Num estudo conduzido pelo *CSIRO Forestry and Forest Products* (Thornton *et al.*, 1991; Thornton *et al.*, 1996; Thornton *et al.*, 1997), foi avaliada a durabilidade natural da madeira de *E. globulus*, em cinco regiões climáticas da Austrália. A evolução da decomposição de estacas feitas a partir da parte exterior do cerne e colocadas em contacto com o solo foi monitorizada durante 25 anos. A madeira de *E. globulus* foi considerada moderadamente durável face ao ataque de fungos, sendo de esperar que tenha um tempo de vida médio de 2 a 7 anos e de 8,5 a 15 anos, respectivamente nas regiões norte e sul da Austrália. Face ao ataque conjunto de fungos e térmitas, a madeira de *E. globulus* apresentou-se não durável, correspondendo-lhe um tempo de vida médio esperado de 1 a 3 anos e de 1 a 9 anos, nas regiões acima referidas. Todavia, Thornton *et al.* (1997) salientam que estes tempos de vida são meramente indicativos já que, na prática, os tempos de vida dependem das características particulares dos locais onde os produtos florestais são usados.

De facto, o tempo de vida dos produtos de madeira sólida depende de vários outros factores, para além da sua durabilidade natural, dos quais se destacam os seguintes (Ahluwalia e Shackford, 1993; Highley, 1995; Leppänen *et al.*, 1999; Mackensen e Bauhus, 1999; Ford-Robertson, 2003; Pingoud *et al.*, 2003):

- a presença de organismos decompositores;
- as condições climáticas, nomeadamente de humidade e temperatura, a que estão expostos;
- as condições de exposição aos agentes biológicos e às condições ambientais que favorecem a sua actividade (a madeira em contacto com o solo ou com a água e a madeira usada no exterior estão mais sujeitas ao ataque de agentes biológicos);

- a sujeição a tratamentos químicos ou térmicos que lhes confiram protecção contra os agentes decompositores;
- as condições de utilização, incluindo o tipo e frequência da manutenção ou reparações a que são sujeitos e a intensidade da utilização;
- factores sócio-económicos que afectem a renovação dos produtos em uso, tais como a situação económica da população ou as tendências de moda.

Deste modo, a complexa influência dos vários factores acima referidos dificulta a estimativa dos tempos de vida dos produtos de madeira sólida (Leicester, 2001).

Para os produtos de papel, os agentes mais importantes na determinação da sua durabilidade natural são a temperatura, a humidade, a luz e alguns poluentes atmosféricos (Proniewicz *et al.*, 2001; Strlic e Kolar, 2002). Estes agentes provocam a despolimerização da celulose, com consequente degradação das propriedades mecânicas do papel, que fica assim frágil, desintegrando-se com facilidade (Zou *et al.*, 1994).

O principal mecanismo de degradação da celulose é a hidrólise em meio ácido (Gurnagul *et al.*, 1993), cuja velocidade de reacção varia linearmente com a acidez do papel (Zou *et al.*, 1994) e depende da temperatura, da humidade e da exposição à luz (Porck, 2000; Hunt *et al.*, 2003). Por seu lado, a acidez do papel resulta da deposição de dióxido de enxofre (SO₂) na sua superfície, potenciada pela presença de NO_x e O₃ (Johansson e Lennholm, 2000), mas também pela utilização de certos tipos de pastas e aditivos, sendo que estes últimos são determinantes para o estabelecimento da sua durabilidade natural. Assim, a utilização de pastas produzidas por processos ácidos e de sulfato de alumínio (agente de colagem das fibras e regulador do pH) torna o papel mais susceptível à hidrólise ácida (Gurnagul *et al.*, 1993; Putz, 2003). Contudo, mesmo as pastas produzidas por processos alcalinos e as pastas mecânicas têm tendência a produzir ácidos à medida que envelhecem (Porck e Teygeler, 2000). A hidrólise ácida pode ser evitada se for adicionado ao papel, durante o seu fabrico, carbonato de cálcio em quantidade suficiente para neutralizar os ácidos produzidos durante a produção do papel e ao longo do seu período de utilização (Gurnagul *et al.*, 1993; Havlíková *et al.*, 2002). Um papel com reserva alcalina pode durar quatro vezes mais (cerca de 200 anos) do que um papel ao qual é adicionado sulfato de alumínio (Putz, 2003).

Tal como para os produtos de madeira sólida, o tempo de vida dos produtos de papel é condicionado por outros factores para além da sua durabilidade natural e que dificultam a estimativa do seu tempo de vida, sendo de salientar os seguintes (Neevel, 1995; Smith, 1999; Havermans, 2002; Strlic e Kolar, 2002; Putz, 2003):

- as condições a que são expostos durante a sua utilização no que respeita a temperatura, humidade, luminosidade, níveis de poluição e contacto com outros produtos de papel que contenham ácidos;
- o tipo de tintas usadas na impressão e escrita, já que as tintas, com ferro e cobre na sua composição, promovem a hidrólise ácida da celulose;
- a ocorrência de danos físicos resultantes do modo como são manuseados e do ataque de insectos;
- o tipo de manutenção a que são sujeitos, nomeadamente no que respeita ao recurso a técnicas de desacidificação.

A velocidade da decomposição dos produtos florestais depositados em aterro, por via aeróbia ou anaeróbia, é afectada pelas condições ambientais que favorecem o crescimento dos microrganismos que a promovem, nomeadamente o teor de humidade, a temperatura, o pH, a presença de nutrientes e a ausência de toxinas (Gurijala e Suflita, 1993; Bogner e Spokas, 1995; Bogner *et al.*, 1995). Estas condições dependem essencialmente do tipo de clima, da hidrogeologia do local e de alguns aspectos relacionados com o tipo de construção e operação do aterro, tais como o nível de compactação, a quantidade e qualidade do solo usado na cobertura dos resíduos e a existência de recirculação dos lixiviados (Bogner e Spokas, 1995; Kelly, 2002; Gardner *et al.*, 2004).

A composição dos resíduos depositados em aterro assume também um papel determinante na velocidade e na extensão da sua decomposição. Nas condições anaeróbias existentes nos aterros, não ocorre decomposição da lenhina, mas tanto a celulose como as hemiceluloses são metabolizadas pelas bactérias anaeróbias (Barlaz *et al.*, 1989). Contudo, a degradabilidade da celulose e das hemiceluloses depende do seu grau de associação com a lenhina. Assim, a madeira é muito resistente à decomposição em aterro porque a celulose e as hemiceluloses que fazem parte da sua composição estão envolvidas por uma matriz de lenhina (Wang *et al.*, 1994). Escavações efectuadas por Gardner *et al.* (2004) num aterro australiano confirmam as baixas taxas de decomposição da madeira em aterro. Estes autores recolheram madeira de várias espécies de resinosas e de folhosas de dois locais do aterro sujeitos a práticas de gestão distintas e verificaram que a madeira não mostrava sinais óbvios de deterioração. Num dos locais, onde os resíduos foram sujeitos a compactação e o biogás foi extraído para produção de energia, a madeira permaneceu durante 19 anos e sofreu uma perda média de carbono de 4,1%. No outro local, onde não havia compactação dos resíduos nem extracção de biogás, mas havia recirculação dos lixiviados, a madeira perdeu, em média, 2,5% do seu carbono inicial, ao fim de 29 anos. A celulose e as hemiceluloses presentes no papel são menos resistentes à decomposição do que as da madeira, pois grande parte da lenhina presente na madeira que lhe deu origem é removida durante o processo de produção de pasta (Micales e Skog, 1997). No entanto, alguns tipos de papel, como o papel de jornal, contêm 20 a 27% de lenhina, o que os torna mais resistentes à

degradação (Barlaz *et al.*, 1997; Micales e Skog, 1997). Com efeito, existem estudos que relatam a recuperação de jornais que ainda são legíveis após terem estado em aterro durante várias décadas (Bogner, 1992; Rathje, 1996).

2.6.2.1.2. Método baseado na observação directa

No método baseado na observação directa, os fluxos de entrada e saída de carbono do reservatório de produtos florestais são obtidos directamente a partir de dados estatísticos. Assim, o fluxo de entrada de carbono no reservatório de produtos florestais em uso é obtido a partir do consumo de produtos florestais e o fluxo de saída de carbono é obtido a partir da quantidade de produtos florestais descartados e da quantidade de produtos florestais sujeitos a decomposição natural (apodrecimento) e/ou incêndios durante a fase de utilização. Para os produtos florestais em aterro, o fluxo de entrada de carbono é determinado com base na quantidade de produtos florestais depositados em aterro e o fluxo de saída de carbono é constituído pelo carbono emitido para a atmosfera e para os lixiviados, resultante da decomposição e/ou queima de produtos florestais em aterro.

Com excepção dos dados de consumo de produtos florestais, a restante informação requerida por este método não está normalmente disponível, daí que apenas tenha sido usado por Gjesdal *et al.* (1996) e Flugsrud *et al.* (2001). Estes autores avaliaram a aplicabilidade deste método à Noruega, tendo concluído que só existia informação suficiente para quantificar a variação dos *stocks* de carbono no papel em uso. Contudo, referem que, se por um lado a incerteza associada ao fluxo de saída de carbono (estimado a partir da quantidade de papel presente nos resíduos sólidos urbanos e nos resíduos industriais) é elevada, por outro lado, o método é muito sensível a erros nos dados que permitem estimar os fluxos de entrada e de saída, pois os valores obtidos para a variação de *stocks* de carbono são bastante pequenos face aos fluxos de entrada e de saída a partir dos quais são calculados. Por estes motivos, estes autores optaram por estimar a variação dos *stocks* de carbono no papel por um método baseado nos tempos de vida.

2.6.2.2. Método de estimativa directa dos *stocks*

No método baseado na estimativa directa dos *stocks*, a variação dos *stocks* de carbono nos produtos florestais é calculada pela diferença entre os *stocks* de carbono nos produtos florestais em anos diferentes. Os *stocks* são estimados directamente recorrendo a dados estatísticos e a técnicas de amostragem (UNFCCC, 2003a).

Na prática, este método apresenta uma aplicação limitada apenas aos produtos de madeira sólida usados em edifícios (como materiais de construção e mobiliário) e em estruturas de engenharia civil (Flugsrud *et al.*, 2001; Pingoud *et al.*, 2001; Pingoud *et al.*, 2003; UNFCCC, 2003a). A sua utilização para determinar a variação dos *stocks* de carbono nos aterros não é praticável e também não parece adequado para calcular a variação dos *stocks* de carbono no papel porque, por um lado, é muito difícil obter dados fiáveis dos *stocks* de papel em uso e, por outro lado, os *stocks* de papel podem mudar rapidamente devido ao tempo de vida relativamente pequeno que o papel possui (Flugsrud *et al.*, 2001).

Este método foi aplicado na Alemanha (Burschel *et al.*, 1993), na Austrália (Jaakko Pöyry Consulting Asia-Pacific, 1999), na Finlândia (Pingoud *et al.*, 2001; Pingoud *et al.*, 2003), no Japão (Hashimoto e Moriguchi, 2004) e na Noruega (Gjesdal *et al.*, 1996; Flugsrud *et al.*, 2001).

Na Austrália foram efectuadas estimativas preliminares dos *stocks* de carbono em edifícios residenciais com base no número de edifícios existentes, na quantidade média de produtos de madeira sólida usada por edifício e no teor de carbono nos produtos de madeira sólida (Jaakko Pöyry Consulting Asia-Pacific, 1999). Burschel *et al.* (1993) usaram um procedimento semelhante, mas mais elaborado, na medida em que incluíram também os edifícios para fins não residenciais e consideraram três tipologias distintas para os edifícios residenciais e para os edifícios não residenciais.

Por seu lado, Gjesdal *et al.* (1996) e Flugsrud *et al.* (2001) calcularam os *stocks* de carbono em edifícios para fins residenciais (divididos em edifícios pequenos e edifícios grandes) e não residenciais, considerando o número de edifícios de cada tipo, a área média de cada tipo de edifício, a quantidade média de produtos de madeira sólida usada por unidade de área de cada tipo de edifício e o teor de carbono nos produtos de madeira sólida. Gjesdal *et al.* (1996) referem ainda que a incerteza associada aos *stocks* de carbono em edifícios obtidos com este método foi de cerca de 50%, sendo que a quantidade média de produtos de madeira sólida usada por unidade de área constituiu a principal fonte de incerteza. Hashimoto e Moriguchi (2004) determinaram os *stocks* de carbono na madeira serrada em edifícios, também com base na área dos edifícios e na quantidade de madeira serrada existente por unidade de área mas, neste caso, a diferenciação dos edifícios foi efectuada segundo o seu tipo de estrutura: de madeira, de cimento reforçado com aço, de cimento ou de aço.

Pingoud *et al.* (2001) e Pingoud *et al.* (2003) desenvolveram um método mais detalhado, em que os *stocks* de carbono são calculados separadamente para quatro tipos de edifícios residenciais, quatro tipos de edifícios não residenciais e estruturas de engenharia civil (pontes e docas). Em cada tipo de construção foram ainda consideradas seis classes de idade. Para os edifícios, os *stocks* de carbono foram obtidos a partir do número de edifícios existentes de cada tipo e classe

de idade, do volume médio dos edifícios, da quantidade média de madeira serrada e estacas usada por unidade de volume dos edifícios, da quantidade média de painéis de madeira usada por unidade de volume dos edifícios e do teor de carbono nos produtos de madeira sólida. Para as estruturas de engenharia civil, os *stocks* de carbono foram calculados com base no seu valor económico nas redes de transportes, telecomunicações, energia e abastecimento de água, na quantidade média de madeira serrada usada por unidade de valor económico dessas redes e do teor de carbono na madeira serrada. Segundo estes autores, a incerteza associada aos *stocks* de carbono nos edifícios calculados por este método é de apenas 10%, já que na Finlândia as estatísticas relativas ao número e características dos edifícios construídos, bem como dos materiais usados na sua construção são muito completas e detalhadas. A incerteza das estimativas dos *stocks* de carbono nas estruturas de engenharia civil foi estimada em cerca de 15%.

O método baseado na estimativa directa dos *stocks* permite também gerar informação necessária para a aplicação do método baseado nos tempos de vida, nomeadamente o *stock* inicial de carbono nos produtos florestais e o tempo de vida médio dos produtos florestais. Pingoud *et al.* (2001) e Hashimoto e Moriguchi (2004) determinaram o tempo de vida médio da madeira serrada usada em edifícios, respectivamente, na Finlândia e no Japão, usando este método. O tempo de vida médio é igual ao tempo de vida para o qual os *stocks* de carbono na madeira serrada obtidos pelo método baseado nos tempos de vida coincidem com os *stocks* de carbono na madeira serrada calculados pelo método baseado na estimativa directa dos *stocks*. Os valores obtidos por Pingoud *et al.* (2001) e por Hashimoto e Moriguchi (2004) foram de cerca de 40 e 45 anos, respectivamente.

2.6.2.3. Método de estimativa directa das emissões

No método baseado na estimativa directa de emissões, todas as formas de emissão de carbono resultantes da decomposição e da queima de materiais produzidos a partir de madeira são estimadas directamente. A variação dos *stocks* de carbono nos produtos florestais pode ser estimada pela diferença entre o carbono presente na madeira cortada e as emissões totais de carbono associadas ao uso dessa madeira.

Este método foi apenas testado na Noruega por Gjesdal *et al.* (1996) e Flugsrud *et al.* (2001), que concluíram que o método tende a estimar por excesso a variação dos *stocks* de carbono nos produtos florestais, já que algumas fontes de emissão de carbono são subestimadas e outras não são detectadas ou medidas. Por essa razão, Flugsrud *et al.* (2001) sugeriram que o método baseado nos tempos de vida e o método de estimativa directa dos *stocks* devem ser preferencialmente usados em detrimento deste método.

2.7. Análise de incerteza

Uma análise de incerteza efectuada com o objectivo de quantificar a incerteza associada às estimativas das emissões ou remoções de GEEs e de identificar a origem da incerteza, constitui um processo essencial para avaliar e incrementar a qualidade dessas mesmas estimativas (Smith e Heath, 2000; Winiwarter e Rypdal, 2001; Monni *et al.*, 2004b). A redução da incerteza associada às estimativas das emissões ou remoções de GEEs é um aspecto particularmente crítico na implementação do Protocolo de Quioto. Estudos recentes mostram que a incerteza associada aos inventários nacionais de GEEs realizados no âmbito da CQNUAC, nos quais se baseia o Protocolo de Quioto, é relativamente elevada face às percentagens de redução estipuladas para a maioria dos países. Os valores típicos estimados para a incerteza nas emissões totais de GEEs, expressas em equivalentes de CO₂, excluindo a contribuição da floresta e das alterações no uso do solo, variam de 4 a 21% e para a incerteza na percentagem de redução das emissões de GEEs face ao ano de 1990 variam entre 4 e 5% (Charles *et al.*, 1998; Rypdal e Winiwarter, 2001; Winiwarter e Rypdal, 2001; Baggott *et al.*, 2003; McGettigan e Duffy, 2003; Olsthoorn e Pielaat, 2003; Monni *et al.*, 2004b). A inclusão, nos inventários nacionais, das emissões ou remoções de GEEs resultantes do sector da floresta e das alterações no uso do solo pode aumentar o nível de incerteza (Winiwarter e Rypdal, 2001; Gawin, 2002; Baggott *et al.*, 2003). Esta tendência é ainda mais notória se forem consideradas as emissões de N₂O do solo florestal (Rypdal e Baritz, 2002). Contudo, apenas uma parte das emissões ou remoções desse sector é contabilizada no Protocolo de Quioto. A incerteza nas variações dos *stocks* de carbono resultantes das actividades florestais contempladas nos Artigos 3.3 e 3.4 do Protocolo de Quioto pode variar entre 50 e 100% (Monni *et al.*, 2004a).

Genericamente, podem distinguir-se duas classes de incerteza: a incerteza associada ao modelo de cálculo e a incerteza associada aos parâmetros usados no cálculo (Frey, 1992). O primeiro tipo de incerteza resulta do facto de os modelos serem uma representação simplificada do sistema real e, desse modo, correrem o risco de serem inadequados ou não serem suficientemente abrangentes. Este tipo de incerteza inclui ainda a incerteza numérica e é de difícil quantificação (Rypdal e Winiwarter, 2001; IPCC, 2003). A incerteza associada aos parâmetros resulta essencialmente de erros aleatórios, de erros sistemáticos e da variabilidade natural dos parâmetros (Frey, 1992). Os erros aleatórios estão ligados a imperfeições nas técnicas de medição dos parâmetros, traduzindo-se em falta de precisão, enquanto que os erros sistemáticos ocorrem quando os valores usados para os parâmetros diferem dos seus valores “reais”, conduzindo à falta de exactidão. De entre as principais causas de erros sistemáticos destacam-se as medições pouco exactas (por exemplo, devido a calibração deficiente dos aparelhos ou a erros de leitura) e o conhecimento insuficiente dos parâmetros (que pode levar ao uso de valores

inadequados). A variabilidade natural de um parâmetro está associada à sua heterogeneidade numa população e/ou ao longo do tempo ou do espaço. Ao contrário dos erros aleatórios e sistemáticos, a incerteza introduzida pela variabilidade natural não pode ser reduzida através de um maior número de medições ou de estudos (Frey e Burmaster, 1999; Nilsson *et al.*, 2004). Os erros aleatórios e a variabilidade natural podem ser determinados a partir de dados empíricos, embora, na prática, estes nem sempre estejam disponíveis. Já os erros sistemáticos não são detectáveis empiricamente, pois os valores “reais” dos parâmetros são desconhecidos. Assim, na avaliação da incerteza associada aos parâmetros, é frequente o recurso a dados da literatura, a opiniões de peritos e/ou à análise da qualidade dos dados (Gillenwater *et al.*, 2004; Monni *et al.*, 2004b).

Para combinar as incertezas associadas aos parâmetros individuais, intervenientes nos procedimentos de cálculo realizados no âmbito dos inventários nacionais de emissões de GEEs, o IPCC recomenda dois métodos distintos: as equações de propagação de erro e o método de Monte Carlo (IPCC, 2000a; IPCC, 2003).

As equações de propagação de erro são válidas para operações de adição e de multiplicação, sendo dadas pelas Equações 2.1 e 2.2, respectivamente. Contudo, este método não é adequado se existirem relações de dependência entre os parâmetros, os valores das incertezas forem relativamente elevados (superiores a 60% do valor médio do parâmetro) e a incerteza em torno da média for assimétrica.

$$I_{\text{total adição}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (I_i x_i)^2}}{\left| \sum_{i=1}^n x_i \right|} \quad \text{Equação 2.1}$$

onde,

$I_{\text{total adição}}$ = incerteza total resultante de operações de adição (expressa em % do valor médio do resultado da operação);

I_i = incerteza no parâmetro i (expressa em % do valor médio do parâmetro i);

x_i = valor médio do parâmetro i ;

n = número de parâmetros.

$$I_{\text{total multiplicação}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_i^2} \quad \text{Equação 2.2}$$

onde,

$I_{\text{total multiplicação}}$ = incerteza total resultante de operações de multiplicação (expressa em % do valor médio do resultado da operação).

O método de Monte Carlo, mais sofisticado do que o método anterior, é uma simulação estocástica em que a incerteza nos parâmetros é definida através de funções de distribuição de probabilidade (FDPs). Neste método, é seleccionado um valor aleatório das FDPs associadas a cada parâmetro, gerando um determinado resultado. Este processo é repetido várias vezes, obtendo-se, no final, uma FDP para o resultado. Este método é aplicável mesmo quando existem relações de dependência entre os parâmetros, as incertezas são elevadas e os algoritmos de cálculo são funções complexas. Além disso, permite combinar incertezas com qualquer distribuição de probabilidades.

Capítulo 3

Balanço de carbono na floresta de eucalipto e de pinheiro bravo

3.1. Introdução

3.1.1. A floresta portuguesa de eucalipto e de pinheiro bravo

Segundo o último Inventário Florestal Nacional (DGF, 2001), a área florestada em Portugal Continental é da ordem dos 3,3 milhões de hectares (38% do território), da qual cerca de metade é ocupada por povoamentos de pinheiro bravo e de eucalipto. O pinheiro bravo é a espécie com maior área de ocupação, sendo dominante em cerca de 976 mil hectares, enquanto que o eucalipto apresenta a terceira maior área de ocupação, sendo dominante em cerca de 672 mil hectares. Cerca de 83% dos povoamentos de pinheiro bravo situam-se nas regiões do norte e centro do país, enquanto que os povoamentos de eucalipto têm mais expressão ao longo da faixa litoral e na região do vale do Tejo, principalmente em zonas de altitude inferior a 400 m. Cerca de 65% da área ocupada por pinheiro bravo são povoamentos puros, enquanto que no eucalipto este estrato representa cerca de 71% da sua área total. Apenas 53 e 66% da área dos povoamentos de pinheiro bravo e de eucalipto, respectivamente, é classificada como sendo de qualidade alta e média-alta.

A gestão da floresta no passado e as perturbações a que esteve sujeita (naturais ou antropogénicas) condicionam a estrutura etária actual da floresta, e consequentemente, o seu balanço de carbono (Nabuurs *et al.*, 1997). Deste modo, é importante conhecer a história da

floresta portuguesa de eucalipto e de pinheiro bravo para melhor compreender o seu papel no balanço de carbono.

A Figura 3.1 apresenta graficamente a evolução das áreas de ocupação da floresta de eucalipto e de pinheiro bravo entre os anos de 1875 e 1995.

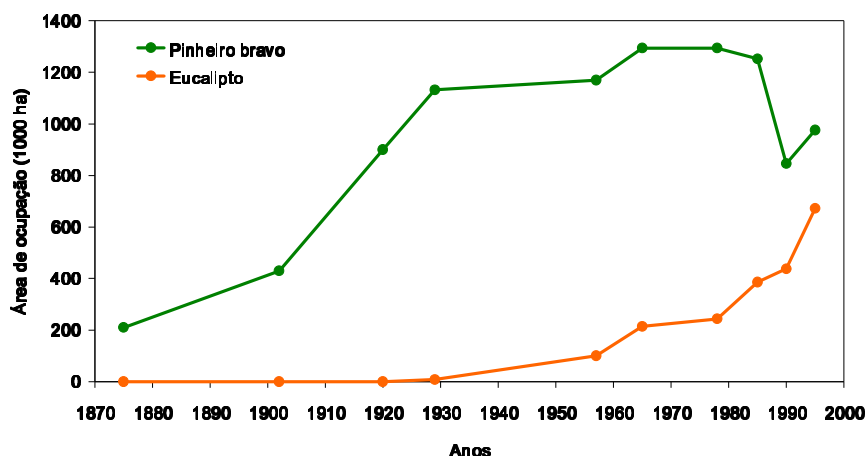


Figura 3.1 - Evolução das áreas de ocupação da floresta de eucalipto e de pinheiro bravo em Portugal (áreas em que são dominantes)¹.

A introdução do pinheiro bravo em Portugal data de finais do século XIII, como medida de defesa do litoral da invasão de areias (Portela, 1993). Ao longo do século XX, a sua área de ocupação aumentou consideravelmente graças aos grandes programas de arborização promovidos pelo Estado (DGF, 1998), até atingir o seu máximo no final da década de 70, tendo posteriormente sofrido uma redução de cerca de 25% até à actualidade. De entre as causas subjacentes a esta redução podem ser apontadas a destruição pelos incêndios florestais, o não aproveitamento da regeneração natural nas áreas desarborizadas ou com clareiras e a transformação de povoamentos mistos de pinheiro bravo e eucalipto em povoamentos puros de eucalipto (CESE, 1996).

¹ Os valores referentes aos anos de 1875 a 1985 foram retirados de vários boletins anuais das Estatísticas Agrícolas do Instituto Nacional de Estatística, excepto no ano 1929 para o eucalipto, em que o valor foi obtido no Plano de Desenvolvimento Sustentável da Floresta Portuguesa (DGF, 1998). É de notar que entre 1875 e 1957, as áreas indicadas para o pinheiro bravo incluem também outras espécies de pinheiro. As áreas apresentadas para o ano 1992 foram obtidas em Acel e DGF (1993) e IF (1993), respectivamente para o eucalipto e o pinheiro bravo, enquanto que as referentes ao ano 1995 são as do último Inventário Florestal Nacional (DGF, 2001).

Segundo Goes (1991), a introdução do eucalipto em Portugal é relativamente recente, tendo ocorrido no ano 1829, embora o fomento da sua plantação só se tenha iniciado por volta de 1860. No entanto, a grande expansão das plantações de eucalipto coincidiu com o crescimento da sua utilização na indústria de pasta a partir da década de 60 do século XX² e, mais acentuadamente, a partir do final da década de 70, principalmente em áreas antes ocupadas por pinheiro bravo (CESE, 1996).

3.1.2. Balanços de carbono efectuados para a floresta portuguesa de eucalipto e de pinheiro bravo

O balanço de carbono na floresta portuguesa tem sido determinado em alguns estudos realizados à escala europeia ou global, com base em diferentes metodologias. Assim, Dong *et al.* (2003) aplicaram o método da detecção remota, enquanto que UNECE/FAO (2000), Liski *et al.* (2002) e Karjalainen *et al.* (2003) recorreram ao uso de inventários florestais (complementados por modelos no caso dos dois últimos autores).

Dong *et al.* (2003) quantificaram os *stocks* de carbono na biomassa aérea da totalidade da floresta portuguesa em 123 Tg C, no final da década de 90, e a remoção de carbono em 2,57 Tg C ano⁻¹, entre os anos de 1982 e 1999. Estes autores efectuaram a conversão dos valores do índice de vegetação NDVI, medidos por detecção remota, para *stocks* de biomassa, por extrapolação de correlações empíricas que foram estabelecidas com base nos dados de inventários florestais de seis países (Canadá, Finlândia, Noruega, Rússia, Estados Unidos da América e Suécia).

Correia (2004) comparou os *stocks* de biomassa acima do solo obtidos por Dong *et al.* (2003) com os *stocks* de biomassa calculados a partir de inventários de vegetação nacionais, tendo concluído que são aproximados. Além disso, verificou que a distribuição geográfica dos *stocks* de biomassa obtidos por detecção remota representa de forma consistente a distribuição geográfica da produtividade da vegetação no país, quando a informação é agregada em unidades ecológicas da dimensão das consideradas na Carta Ecológica de Pina Manique e Albuquerque (Albuquerque, 1954) e que está bem correlacionada com a distribuição dos principais parâmetros climáticos determinantes da distribuição da vegetação e da produtividade primária líquida.

No estudo conhecido por “*Temperate and Boreal Forest Resources Assessment*” (UNECE/FAO, 2000), realizado pela *Food and Agriculture Organization* (FAO) e pela *United Nations Economic*

² Em meados dos anos 20 (do século XX) teve início a produção de pasta de eucalipto ao bissulfito e em 1957 arrancou a produção de pasta de eucalipto ao sulfato (Goes, 1960; Alves, 2000).

Comission for Europe (UNECE), os *stocks* de carbono na biomassa total da floresta portuguesa foram estimados em 96 Tg C no ano 1995, dos quais 61 Tg C na biomassa aérea e 35 Tg nas raízes. A remoção de carbono pela biomassa total no mesmo ano foi de 1,45 Tg C ano⁻¹. Os dados de base para este estudo, nomeadamente as áreas de ocupação da floresta, os volumes em pé, as remoções de madeira, as taxas de crescimento da biomassa e os factores de conversão foram fornecidos pelos correspondentes nacionais. Relativamente aos dois últimos parâmetros, que são normalmente os que apresentam maior variabilidade de estudo para estudo, foi considerada uma taxa de crescimento média anual de 6,8 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, um factor de conversão do volume do tronco (com casca) para biomassa total acima do solo de 0,52 e 0,55 Mg m⁻³, respectivamente para resinosas e folhosas, e um factor de conversão do volume do tronco (com casca) para biomassa nos cepos e raízes de 0,24 Mg m⁻³.

Segundo Liski *et al.* (2002), no ano 1990, os *stocks* de carbono na biomassa total da floresta portuguesa, incluindo as raízes, e no solo florestal foram de 78 e 70 Tg C, respectivamente, e a remoção de carbono promovida por cada um destes reservatórios foi de 0,2 Tg C ano⁻¹. Os factores de conversão do volume do tronco (com casca) para biomassa total acima do solo usados neste estudo foram de 0,58 e 0,77 Mg m⁻³, respectivamente para resinosas e folhosas, e o factor de conversão do volume do tronco (com casca) para biomassa nas raízes foi de 0,13 Mg m⁻³. Os restantes dados utilizados por estes autores para calcular os *stocks* e a remoção de carbono na biomassa (áreas de ocupação da floresta, volumes em pé, remoções de madeira e taxas de crescimento da biomassa) foram obtidos em Kuusela (1994). Os *stocks* e os fluxos de carbono no solo foram determinados por aplicação de um modelo que tem em conta as taxas de mortalidade e de decomposição dos vários componentes da árvore.

Por sua vez, Karjalainen *et al.* (2003) obtiveram valores da ordem dos 31 Tg C para os *stocks* de carbono na biomassa aérea e de 63 Tg C para o solo na floresta portuguesa, no ano 1990. Além disso, a remoção de carbono promovida pela biomassa aérea entre os anos de 1990 e 1995 foi estimada em 1,35 Tg C ano⁻¹. Estes autores partiram do princípio que o solo estava em equilíbrio, ou seja, não emitia nem removia carbono. Estas estimativas foram obtidas com um modelo que tem como dados de entrada os dados de inventários florestais compilados por UNECE/FAO (1992).

Os valores apresentados por Liski *et al.* (2002) e Karjalainen *et al.* (2003) para os *stocks* de carbono no solo correspondem a cerca de 2,3 e 4,2 kg C m⁻², respectivamente, dado que as áreas de ocupação da floresta portuguesa indicadas por estes autores foram de 3,102 e 1,508 Mha, respectivamente. Estes valores são inferiores aos obtidos por Correia (2004) para os solos florestais da região noroeste de Portugal, nomeadamente 10,3 kg C m⁻² até 30 cm de profundidade e 14,9 kg C m⁻² até 100 cm de profundidade. Esta autora apresenta estimativas preliminares da quantidade média de carbono orgânico nos solos em Portugal, até à profundidade

de 30 cm, com base em dados extraídos de diversas publicações e também em dados não publicados que foram introduzidos num sistema de informação geográfica. Os valores obtidos variam entre 0,21 e 23,50 kg C m⁻², correlacionando-se significativamente com a precipitação média anual e, portanto, com a produtividade de biomassa, mas estão também dependentes do sistema de uso da terra. Contudo, apenas para a região noroeste de Portugal a quantidade de dados disponíveis possibilitou a quantificação do carbono orgânico nos solos florestais.

Nos estudos acima referidos, os balanços de carbono são contabilizados para a floresta total, não havendo uma diferenciação por espécies. Embora os balanços de carbono efectuados especificamente para a floresta de eucalipto e de pinheiro bravo em Portugal sejam em número limitado, principalmente para a segunda espécie, é de salientar a diversidade de metodologias que têm sido utilizadas, nomeadamente a medição de fluxos, a utilização de modelos, a monitorização intensiva de povoamentos e o uso de inventários florestais.

O método de medição de fluxos foi utilizado num povoamento de eucalipto de segunda rotação com 8 anos (em 2001, data de instalação da torre de medição), localizado na região de Pegões (Pereira *et al.*, 2003). O valor médio obtido para a produção líquida do ecossistema no ano 2002 foi de 6,4 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹.

Por sua vez, Correia (2004) averiguou a possibilidade de utilização do modelo CO2FIX V.2 (do tipo *bookkeeping*) para quantificar o balanço de carbono na floresta de eucalipto e de pinheiro bravo em Portugal. Nesse sentido, comparou as estimativas geradas pelo modelo para alguns parâmetros, designadamente a produção líquida do ecossistema, a repartição da biomassa pelos compartimentos da árvore e a evolução do carbono no solo, com medições efectuadas no campo para os mesmos parâmetros, tendo concluído que são bastante aproximadas, o que sugere que o modelo pode ser utilizado com alguma confiança para o pinheiro bravo e para a primeira rotação do eucalipto. Contudo, refere que o modelo não atende às especificidades do sistema de gestão do eucalipto, na medida em que não possibilita a simulação de rotações sucessivas com diferentes produtividades, a permanência de raízes vivas após a primeira rotação, nem a selecção de varas.

O método de monitorização intensiva foi aplicado a povoamentos de eucalipto por Azevedo (2000), Madeira *et al.* (2002a) e Madeira *et al.* (2002b).

Azevedo (2000) analisou a influência de diferentes práticas de gestão dos resíduos de abate (remoção do solo, manutenção à superfície e incorporação no solo por gradagem) nos teores de carbono no solo em dois povoamentos, em Óbidos e em Lisboa, durante, respectivamente, 66 e 42 meses. Os resultados deste estudo sugerem que o modo como é efectuada a gestão dos resíduos de abate não determina diferenças significativas nos teores de carbono total, carbono livre, carbono humificado e carbono microbiano no solo.

Madeira *et al.* (2002a) compararam o efeito da mobilização superficial (gradagem) e da mobilização profunda (lavoura) do solo no teor de carbono orgânico do solo num eucaliptal situado na região de Rio Maior, durante um período de onze anos. Estes autores verificaram que em qualquer dos tratamentos ocorreu um decréscimo do teor de carbono no solo, que ocorreu sobretudo na fase inicial da experiência e foi mais acentuado no caso da mobilização profunda.

Madeira *et al.* (2002b) estudaram as variações dos *stocks* de carbono num povoamento de eucalipto localizado em Óbidos, sob diferentes condições de irrigação e de fertilização. A experiência decorreu durante seis anos, ao fim dos quais foi determinada a produção de biomassa acima do solo em cada componente da árvore (tronco com casca, ramos e folhas), a produção de raízes, a produção de manta morta e a concentração de carbono orgânico no solo. Estes autores concluíram que o maior reservatório de carbono no sistema analisado é o tronco (incluindo a casca), sendo também neste que se verificou o maior incremento de carbono ao longo dos seis anos. Concluíram também que a disponibilidade de água é o principal factor limitante na produção de biomassa, sendo o seu efeito mais pronunciado em relação à biomassa acima do solo do que em relação às raízes. Por outro lado, constataram que a alocação do carbono ao solo está principalmente associada à disponibilidade de nutrientes, independentemente da disponibilidade de água.

Por último, o método baseado em dados de inventários florestais tem vindo a ser utilizado nos inventários nacionais de emissões de GEEs realizados no âmbito da CQNUAC. Apesar de nestes inventários o balanço de carbono ser reportado para a totalidade da floresta portuguesa, os dados de entrada são conhecidos (Ferreira *et al.*, 2004), o que possibilita a diferenciação das contribuições do pinheiro bravo e do eucalipto. Assim, de acordo com o inventário submetido no ano 2004, a floresta de pinheiro bravo foi sempre uma fonte de carbono para a atmosfera entre os anos de 1990 e 2000, emitindo entre 286 e 1742 Gg C ano⁻¹. Por seu lado, segundo o mesmo inventário, e no mesmo período, a floresta de eucalipto foi uma fonte de carbono para a atmosfera variável entre 4 e 577 Gg C ano⁻¹, excepto no período de 1995 a 1998, em que foi um sumidouro removendo entre 144 e 201 Gg C ano⁻¹. É de notar, no entanto, que as estimativas respeitantes ao balanço de carbono na floresta no âmbito destes inventários de emissões de GEEs têm vindo a sofrer alterações sucessivas, à medida que fica disponível informação de melhor qualidade, principalmente ao nível dos factores de conversão que convertem o volume de madeira em massa de carbono na biomassa florestal total (Ferreira *et al.*, 2003; Ferreira *et al.*, 2004).

Nos estudos baseados em dados de inventários florestais acima descritos, os balanços de carbono na vegetação foram sempre contabilizados pelo diferencial entre o crescimento e as perdas de biomassa. Embora Liski *et al.* (2002) tenham utilizado também o método *stock change*, em que o balanço de carbono na vegetação é dado pela diferença entre a biomassa existente

entre dois inventários florestais, os resultados obtidos com este método são apresentados apenas à escala europeia, sem discriminação por países.

Somente no estudo realizado por Liski *et al.* (2002) é quantificada a incerteza associada às estimativas dos *stocks* e da remoção de carbono mas, mais uma vez, apenas para os valores agregados obtidos à escala europeia, variando entre -34 e +60% para os *stocks* e entre -35 e +50% para a remoção.

3.1.3. Objectivo

O objectivo deste capítulo consiste na determinação do balanço de carbono na floresta portuguesa de eucalipto e de pinheiro bravo com base em dados de inventários florestais, por aplicação do método *stock change* e utilizando factores de conversão (do volume de madeira para massa de carbono) específicos destas florestas.

3.2. Metodologia

O balanço de carbono na floresta de eucalipto e de pinheiro bravo foi obtido directamente pela diferença entre os *stocks* de carbono na biomassa florestal existentes nos anos em que foram realizados inventários florestais (Equação 3.1).

$$R = (C_{t_2} - C_{t_1}) / (t_2 - t_1) \quad \text{Equação 3.1}$$

onde,

R = remoção de carbono pela biomassa florestal (Gg C ano⁻¹);

C_{t1} = *stocks* de carbono na biomassa florestal no ano t₁ (Gg C);

C_{t2} = *stocks* de carbono na biomassa florestal no ano t₂ (Gg C).

No presente estudo foram efectuadas as seguintes simplificações:

- as raízes foram excluídas pois, apesar de existirem estudos nacionais onde a massa de raízes no eucalipto e no pinheiro bravo e os factores de que depende foram avaliados (Fabião *et al.*, 1987; Tavares, 1989; Fabião *et al.*, 1995; Madeira *et al.*, 2002b), o número limitado e a especificidade geográfica desses estudos condiciona a generalização dos seus resultados ao país;
- os resíduos florestais (casca, ramos, folhas e bicadas) são decompostos no ano em que são produzidos. Apesar de já terem sido realizados estudos nacionais onde foram determinadas

taxas de decomposição dos resíduos produzidos em povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo (Cortez, 1996; Jones *et al.*, 1999; Azevedo, 2000; Madeira *et al.*, 2002b; Ribeiro *et al.*, 2002; Ribeiro e Madeira, 2004), é prematuro efectuar generalizações para o país, pois a taxa de decomposição dos resíduos depende de vários factores, nomeadamente das características dos resíduos (composição química, densidade, dimensões), dos factores que controlam a actividade dos microrganismos decompositores (temperatura, humidade) e das práticas de gestão dos resíduos (podem ser removidos, mantidos à superfície ou incorporados no solo) (Jones *et al.*, 1999; Azevedo, 2000; Moro e Domingo, 2000; Post, 2002; Liski *et al.*, 2003b; Mackensen *et al.*, 2003). Deste modo, é considerado que os *stocks* de carbono no solo não sofrem alterações ao longo do tempo, sendo esta suposição comum quando não existe informação suficiente que permita a sua quantificação (Turner *et al.*, 1995; Ford-Robertson, 1996; Brack e Richards, 2002; Karjalainen *et al.*, 2003). No povoamento de eucalipto estudado por Madeira *et al.* (2002b), entre 8 e 15% do acréscimo verificado nos *stocks* totais de carbono ao fim de 6 anos foi devido à manta morta e ao solo. Contudo, a extrapolação destes resultados para a totalidade da floresta de eucalipto pode não ser correcta, pois a variação dos *stocks* de carbono no solo depende de vários factores que controlam os fluxos de entrada e de saída de carbono, entre os quais, a composição da vegetação, o clima, as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, as técnicas de preparação do solo, o tipo de gestão florestal, a duração das rotações e a ocorrência de fogos (Liski *et al.*, 2001; Madeira *et al.*, 2002a; Madeira *et al.*, 2002b; Post, 2002; IPCC, 2003).

Nos pontos 3.2.1 e 3.2.2 é descrita a metodologia adoptada para o eucalipto e o pinheiro bravo, respectivamente. No ponto 3.2.3 são apresentados os cenários avaliados no âmbito da análise de sensibilidade efectuada e, finalmente, no ponto 3.2.4 é descrita a metodologia seguida para a análise de incerteza.

3.2.1. Floresta de eucalipto

Os *stocks* de carbono na floresta de eucalipto foram estimados para os anos 1992, 1996, 1998 e 2000, a partir dos volumes em pé correspondentes aos estratos puros e mistos avaliados nestes anos nos inventários realizados pela Associação das Empresas Produtoras de Pasta de Celulose (Acel), pela Associação da Indústria Papeleira (Celpa) e pela Direcção-Geral das Florestas (DGF) (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Inventários florestais realizados para o eucalipto: ano de apuramento dos volumes, promotores e volume contabilizado.

Fonte	Ano de apuramento dos volumes	Promotor do inventário	Volume contabilizado
Acel e DGF (1993)	1992	Acel e DGF	tronco com casca e com bicada e sem cepo
Celpa (comunicação pessoal)	1996	Celpa	tronco com casca e com bicada e sem cepo
DGF (2001)	1998	DGF	tronco com casca, bicada e cepo
Celpa (comunicação pessoal)	2000	Celpa	tronco com casca e sem bicada nem cepo

Os volumes em pé contabilizados nos inventários dizem respeito ao tronco com casca, mas em alguns casos incluem também a bicada e/ou o cepo (Tabela 3.1). Face a esta situação, na conversão dos volumes em pé para *stocks* de carbono foram usadas duas fórmulas de cálculo distintas, dadas pelas Equações 3.2 e 3.3. A Equação 3.2 é válida para os inventários dos anos 1992, 1996 e 1998 e a Equação 3.3 para o inventário do ano 2000. Apesar de no inventário do ano 1998 o volume do cepo estar incluído, os volumes desse inventário foram convertidos do mesmo modo que os dos anos 1992 e 1996 por uma questão de simplificação, já que a representatividade do cepo no volume total do tronco varia em função da rotação, o que dificulta a sua quantificação.

$$C_{Et} = VCB_{Et} \times (1 - FVC_E) \times MV_E \times FEB_E \times FC_E \times 10^{-6} \quad \text{Equação 3.2}$$

para t = 1992, 1996 e 1998

onde,

C_{Et} = *stocks* de carbono na biomassa florestal de eucalipto no ano t (Gg C);

VCB_{Et} = volume do tronco de eucalipto com casca e bicada no ano t (m^3);

FVC_E = fracção volumétrica de casca no tronco de eucalipto;

MV_E = massa volúmica da madeira de eucalipto ($kg \text{ seco } m^{-3} \text{ verde}$);

FEB_E = factor de expansão da biomassa para o eucalipto (ton matéria seca total na madeira e casca do tronco, nos ramos e nas folhas / ton matéria seca na madeira do tronco com bicada);

FC_E = fracção de carbono na matéria seca do eucalipto.

$$C_{Et} = VC_{Et} \times (1 - FVC_E) / (1 - FVB_E) \times MV_E \times FEB_E \times FC_E \times 10^{-6} \quad \text{Equação 3.3}$$

para t = 2000

onde,

VC_{Et} = volume do tronco de eucalipto com casca no ano t (m^3);

FVB_E = fracção volumétrica de bicada no tronco de eucalipto.

Para a fracção volumétrica de bicada no tronco foi usado um valor típico de 0,06 (valor fornecido pela Celpa) e para a fracção de carbono na biomassa total seca foi adoptado o valor de 0,50 (IPCC, 1997b; IPCC, 2003).

Por sua vez, a fracção volumétrica de casca no tronco, a massa volúmica da madeira e o factor de expansão da biomassa foram estabelecidos em função da idade dos povoamentos, com base em medições efectuadas pelo RAIZ - Instituto de Investigação da Floresta e Papel. A fracção volumétrica de casca no tronco e a massa volúmica da madeira foram determinadas por regressão linear tendo por base os resultados de 470 e 325 ensaios, respectivamente, realizados em árvores de diferentes proveniências (Figuras 3.2 e 3.3). Por seu lado, o factor de expansão da biomassa foi obtido ajustando uma função do tipo potência aos 11 resultados de ensaios realizados em povoamentos localizados em vários locais do país, em que a classe de qualidade da estação variava entre os 14 e os 21 m (Figura 3.4).

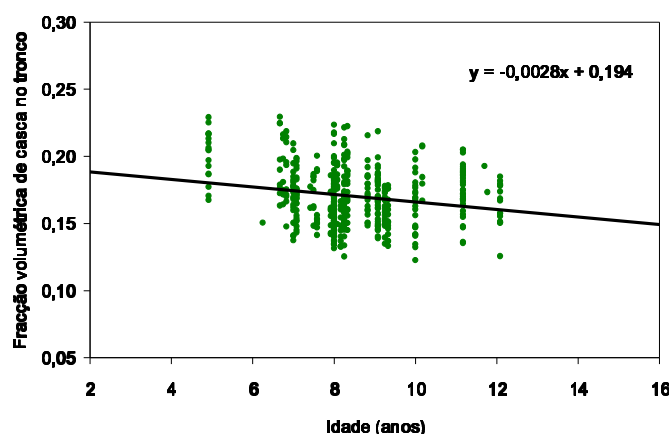


Figura 3.2 - Fracção volumétrica de casca no tronco de eucalipto.

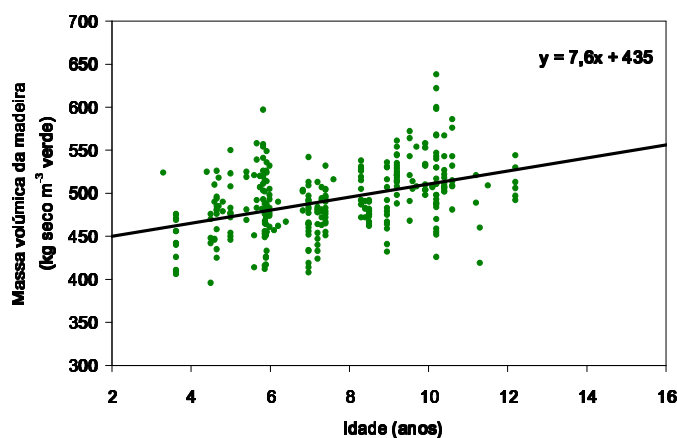


Figura 3.3 - Massa volúmica da madeira de eucalipto.

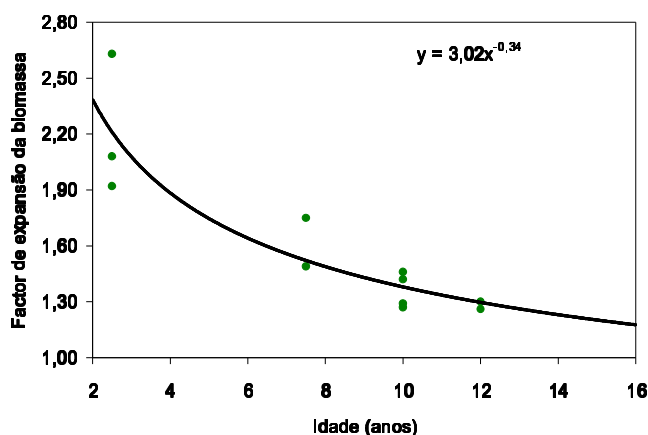


Figura 3.4 - Factor de expansão da biomassa para o eucalipto, definido como o quociente entre a massa de matéria seca total na madeira e casca do tronco, nos ramos e nas folhas e a massa de matéria seca na madeira do tronco com bicada.

Os volumes em pé são fornecidos nos inventários para classes de idade que abrangem quatro anos cada, pelo que na atribuição dos parâmetros a cada classe de idade foram usadas as idades médias de cada classe (Tabela 3.2). Além disso, para a classe que inclui povoamentos com 16 ou mais anos, considerada nos inventários da Celpa, foi adoptada uma idade média de 16 anos. Por seu lado, para a classe de 12 ou mais anos, considerada no inventário da DGF de 1998, foi adoptada uma idade média de 14 anos. Para a classe de idade irregular, constante de todos os inventários, foi adoptada a idade média da classe de idade que apresentava um volume médio por unidade de área mais próximo ao desta classe. Assim, para o inventário da Celpa de 1996 a idade média da classe irregular foi de 16 anos, enquanto que para os restantes inventários foi de 10 anos.

Tabela 3.2 - Valores de fracção volumétrica de casca no tronco, massa volúmica da madeira e factor de expansão da biomassa usados para o eucalipto.

Classe de idade (anos)	Idade média (anos)	Fracção volumétrica de casca no tronco	Massa volúmica da madeira (kg seco m ⁻³)	Factor de expansão da biomassa
0-3	2	0,188	450	2,38
4-7	6	0,177	480	1,64
8-11	10	0,166	511	1,38
12-15	14	0,154	541	1,23
≥ 16	16	0,149	556	1,18

3.2.2. Floresta de pinheiro bravo

Os *stocks* de carbono associados à floresta de pinheiro bravo foram quantificados para 1992 e 1998, anos em que foram avaliados os volumes em pé desta espécie no âmbito dos inventários realizados pelo Instituto Florestal (IF) (IF, 1993) e pela DGF (DGF, 2001). Tal como para o eucalipto, apenas foram considerados os estratos puros e mistos, por se considerar que as árvores dispersas não são floresta.

Para converter os volumes do tronco de pinheiro bravo fornecidos nos inventários, que incluem a casca e a bicada, para *stocks* de carbono, foi aplicada a Equação 3.4.

$$C_{Pt} = VCB_{Pt} \times (1 - FVC_P) \times MV_P \times FEB_P \times FC_P \times 10^{-6} \quad \text{Equação 3.4}$$

Onde,

C_{Pt} = *stocks* de carbono na biomassa florestal de pinheiro bravo no ano t (Gg C);

VCB_{Pt} = volume do tronco de pinheiro bravo com casca e bicada no ano t (m^3);

FVC_P = fracção volumétrica de casca no tronco de pinheiro bravo;

MV_P = massa volúmica da madeira de pinheiro bravo (kg seco m^{-3});

FEB_P = factor de expansão da biomassa para o pinheiro bravo (ton matéria seca total na madeira e casca do tronco, nos ramos e nas folhas / ton matéria seca na madeira do tronco com bicada);

FC_P = fracção de carbono na matéria seca do pinheiro bravo.

O valor de 0,5 sugerido pelo IPCC para a fracção de carbono na biomassa total seca foi adoptado também para o pinheiro bravo (IPCC, 1997b; IPCC, 2003).

Para a fracção volumétrica de casca no tronco e para a massa volúmica da madeira foram utilizados os valores típicos de 0,30 (DGF, 1991; Oliveira, 1999a) e de 450 kg seco m^{-3} (Melo e Pastor, 1982b; Fonseca, 1989), respectivamente.

O factor de expansão da biomassa foi definido para cada uma das classes de idade contempladas nos inventários, considerando a idade média de cada classe (Tabela 3.3). Para a classe de idade irregular, foi considerada a idade média de 35 anos no inventário de 1992 e de 30 anos no inventário de 1998. Estas idades correspondem às idades médias das classes de idade que apresentavam um volume médio por unidade de área mais próximo. Os valores usados para o factor de expansão da biomassa até aos 30 anos resultam da interpolação da função potência que se ajusta aos valores obtidos por Porté *et al.* (2002) em povoamentos de 5, 26 e 32 anos na zona de Bordéus (Figura 3.5). Estes autores determinaram a repartição da biomassa pelos vários compartimentos da árvore através de medições destrutivas, a partir das quais desenvolveram

equações alométricas que aplicaram aos três povoamentos, originando os valores médios apresentados na Figura 3.5. Para as idades médias acima dos 35 anos, inclusive, foi adoptado o factor de expansão da biomassa obtido por Porté *et al.* (2002) para o povoamento de 32 anos, já que os valores obtidos por interpolação da função potência parecem desadequados, sendo inferiores a 1 a partir dos 45 anos.

Tabela 3.3 - Valores do factor de expansão da biomassa usados para o pinheiro bravo

Ano	Classe de idade (anos)	Idade média (anos)	Factor de expansão da biomassa
1992	< 9	5	4,59
	10-19	15	2,18
	20-29	25	1,54
	30-39	35	1,35
	40-49	45	1,35
	50-59	55	1,35
	> 60	70	1,35
1998	< 19	10	2,87
	20-39	30	1,36
	40-59	50	1,35
	> 60	70	1,35

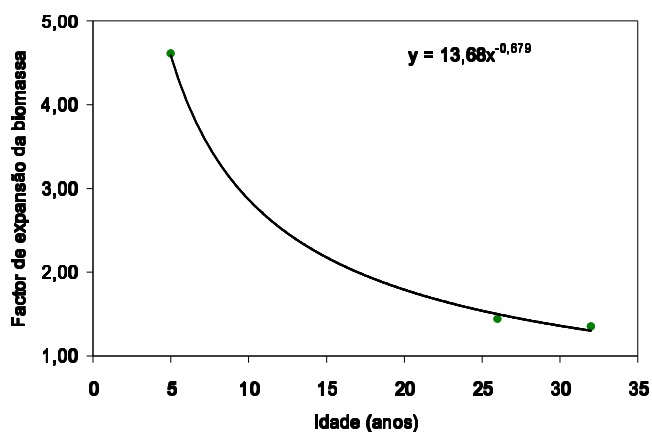


Figura 3.5 - Factor de expansão da biomassa para o pinheiro bravo, definido como o quociente entre a massa de matéria seca total na madeira e casca do tronco, nos ramos e nas folhas e a massa de matéria seca na madeira do tronco com bicada.

3.2.3. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade realizada visou avaliar os efeitos na remoção de carbono resultantes de alterações efectuadas ao nível dos valores usados para a massa volúmica da madeira e para o factor de expansão da biomassa.

Assim, para a floresta de eucalipto foram analisados os seguintes cenários:

- adopção do valor típico de 550 kg seco m⁻³ para a massa volúmica da madeira de eucalipto (Melo e Pastor, 1982a; Goes, 1991; Valente *et al.*, 1992; Jorge, 1999);
- adopção do valor *default* sugerido no GPG LULUCF (IPCC, 2003) para o factor de expansão da biomassa das folhosas das regiões temperadas, ou seja, o valor de 1,4 expresso relativamente ao tronco com casca e sem bicada (equivalente a 1,5 expresso relativamente à madeira do tronco com bicada, considerando uma fracção mássica de casca no tronco de 0,125 (Goes, 1991; Pereira, 1994) e uma fracção mássica de bicada de 0,06).

Por sua vez, para a floresta de pinheiro bravo foram analisados os seguintes cenários:

- adopção dos valores de massa volúmica da madeira em função da idade constantes da Tabela 3.4, obtidos por interpolação da curva apresentada por Castéra *et al.* (1999) (Figura 3.6); as condições em que os valores apresentados por estes autores foram determinados não são conhecidas, razão pela qual não foram adoptados no cenário de referência.

Tabela 3.4 - Valores usados para a massa volúmica da madeira de pinheiro bravo na análise de sensibilidade, estabelecidos com base em Castéra *et al.* (1999).

Ano	Idade média (anos)	Massa volúmica da madeira (kg seco m ⁻³)
1992	5	325
	15	360
	25	390
	35	415
	45	435
	55	450
	70	460
1998	10	340
	30	400
	50	440
	70	460

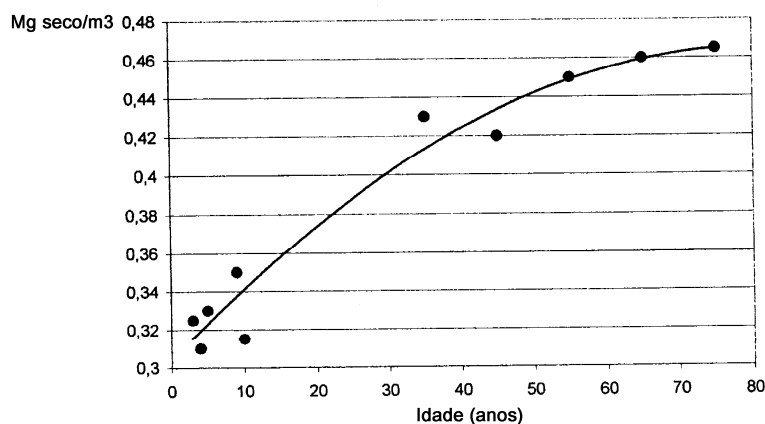


Figura 3.6 - Massa volúmica da madeira de pinheiro bravo obtida por Castéra *et al.* (1999).

- adopção do valor *default* sugerido no GPG LULUCF para o factor de expansão da biomassa dos pinheiros das regiões temperadas, nomeadamente o valor de 1,3 expresso relativamente ao tronco com casca e sem bicada (equivalente a 1,36 expresso relativamente à madeira do tronco com bicada, considerando uma fracção mássica de casca no tronco de 0,1 (DGF, 1991) uma fracção mássica de bicada no tronco igual à usada para o eucalipto (0,06)).

3.2.4. Análise de incerteza

As incertezas associadas aos vários parâmetros de entrada intervenientes nos cálculos foram combinadas recorrendo ao método de Monte Carlo, utilizando para o efeito o software @Risk (Palisade Corporation, 2004).

Na definição da incerteza associada aos dados de entrada foram usados dois tipos de FDPs, nomeadamente a distribuição normal e a distribuição triangular.

A distribuição normal foi usada quando a incerteza em torno do valor usado para o parâmetro em causa (neste caso é o valor médio) é simétrica, sendo a incerteza expressa pelos limites inferior e superior do intervalo de confiança de 95% da FDP (Equação 3.5).

$$Inc = (\text{per}_{97,5} - \mu) \times 100 / \mu = (\mu - \text{per}_{2,5}) \times 100 / \mu \quad \text{Equação 3.5}$$

onde,

Inc = incerteza do parâmetro (%);

per_{97,5} = percentil 97,5 da FDP;

per_{2,5} = percentil 2,5 da FDP;

μ = valor médio da FDP.

O desvio padrão, necessário na definição de qualquer FDP do tipo normal, foi estimado a partir da incerteza estabelecida para cada parâmetro (Equação 3.6), sabendo que os limites do intervalo de confiança de 95% são $\mu \pm 1,96 \times \sigma$.

$$\sigma = \mu \times \text{Inc} / (100 \times 1,96) \quad \text{Equação 3.6}$$

onde,

σ = desvio padrão.

A distribuição triangular foi empregue quando a incerteza associada ao valor usado para o parâmetro em causa (neste caso é o valor mais provável) é assimétrica, sendo definida de acordo com as Equações 3.7 e 3.8.

$$\text{Inc}_{\min} = (\text{MP} - \min) \times 100 / \text{MP} \quad \text{Equação 3.7}$$

onde,

Inc_{\min} = incerteza do parâmetro relativamente ao limite mínimo da FDP (%);

MP = valor mais provável da FDP;

min = limite mínimo da FDP.

$$\text{Inc}_{\max} = (\max - \text{MP}) \times 100 / \text{MP} \quad \text{Equação 3.8}$$

onde,

Inc_{\max} = incerteza do parâmetro relativamente ao limite máximo da FDP (%);

máx = limite máximo da FDP.

Na aplicação do método de Monte Carlo foi considerado suficiente a realização de 1000 iterações para obter FDPs dos resultados estáveis. Além disso, foi utilizada a amostragem *latin hypercube*, uma amostragem estratificada na qual, em cada iteração, são amostrados valores das FDPs dos diferentes parâmetros de entrada, retirados de intervalos com igual probabilidade. Deste modo, o número de iterações realizadas até ser atingida uma FDP do resultado estável é menor do que quando se usa a amostragem de Monte Carlo, em que a amostragem é efectuada de modo aleatório (Smith e Heath, 2001; Palisade Corporation, 2002).

A contribuição relativa de cada parâmetro para a incerteza total associada à remoção de carbono foi determinada de acordo com a Equação 3.9.

$$CR_k = \frac{IC_k}{\sum_k IC_k} \times 100 \quad \text{Equação 3.9}$$

onde,

CR_k = contribuição relativa do parâmetro k para a incerteza total (%);

IC_k = amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% obtido quando é introduzida incerteza apenas no parâmetro k.

A amplitude relativa do intervalo de confiança de 95%, que consiste na diferença entre os percentis 97,5 e 2,5 relativamente ao valor calculado para a remoção de carbono, foi usada como medida da incerteza porque na maioria dos casos a incerteza obtida foi assimétrica.

A Tabela 3.5 resume os valores de incerteza considerados para cada um dos parâmetros de entrada nos cálculos associados ao eucalipto. Para os volumes em pé foi adoptada uma incerteza igual em todos os inventários, considerando um coeficiente de variação de 6,2%, valor que corresponde ao máximo coeficiente de variação associado aos volumes em pé dados nos inventários. Para a fracção volumétrica de casca no tronco e para a massa volúmica da madeira, a incerteza foi estimada com base nos valores obtidos experimentalmente (Figuras 3.2 e 3.3), a partir da maior gama de variação encontrada para árvores da mesma idade. Para a fracção volumétrica de bicada no tronco, a incerteza foi estabelecida com base em informação fornecida pela Celpa, enquanto que para a fracção de carbono na biomassa foi adoptado o valor de incerteza sugerido no GPG LULUCF. Por último, para o factor de expansão da biomassa foi também considerado o valor de incerteza referido no GPG LULUCF, excepto para os limites mínimos das FDPs das classes de idade dos 10, 14 e 16 anos, em que o uso desse valor conduz a valores do factor de expansão inferiores a 1. Nestes casos, foi considerado um limite mínimo igual ao da classe de idade dos 6 anos. Não foi usado o limite mínimo da gama sugerida pelo GPG LULUCF para folhosas temperadas (1,15 expresso relativamente ao tronco com casca e sem bicada, o que equivale a 1,24 expresso relativamente à madeira do tronco com bicada), porque este é superior aos valores usados para o eucalipto aos 14 e aos 16 anos.

Os valores de incerteza associados a cada parâmetro de entrada nos cálculos associados ao pinheiro bravo são dados na Tabela 3.6. Para os volumes em pé foi utilizada uma incerteza igual à adoptada para o eucalipto, enquanto que para a fracção volumétrica de casca no tronco e para a massa volúmica da madeira, a incerteza foi estabelecida a partir das gamas típicas de variação destes parâmetros, ou seja, 0,20 a 0,40 (Oliveira, 1999a) e 380 a 530 kg seco m⁻³ (Fonseca, 1989; Castéra *et al.*, 1999), respectivamente. Os valores de incerteza sugeridos no GPG LULUCF foram usados para a fracção de carbono na biomassa, bem como para o factor de expansão da biomassa. Todavia, para as idades médias a partir dos 25 anos, inclusive, em que o uso da incerteza do GPG LULUCF origina valores do factor de expansão inferiores a 1, foi considerado

um limite mínimo para este parâmetro igual ao valor mínimo da gama sugerida pelo GPG LULUCF para o factor de expansão da biomassa dos pinheiros das regiões temperadas (1,15 expresso relativamente ao tronco com casca e sem bicada, o que equivale a 1,20 expresso relativamente à madeira do tronco com bicada).

Tabela 3.5 - Incerteza associada aos parâmetros de entrada nos cálculos para o eucalipto.

Parâmetro	Tipo de FDP	Incerteza (%)
Volumes em pé	Normal	± 12
Fracção volumétrica da bicada no tronco	Normal	± 50
Fracção volumétrica da casca no tronco	Normal	± 30
Massa volúmica da madeira	Normal	± 20
Fracção de carbono na biomassa	Normal	± 10
Factor de expansão da biomassa aos 2 anos	Normal	± 30
Factor de expansão da biomassa aos 6 anos	Normal	± 30
Factor de expansão da biomassa aos 10 anos	Triangular	- 17 a +30
Factor de expansão da biomassa aos 14 anos	Triangular	- 7 a +30
Factor de expansão da biomassa aos 16 anos	Triangular	- 3 a +30

Tabela 3.6 - Incerteza associada aos parâmetros de entrada nos cálculos para o pinheiro bravo.

Parâmetro	Tipo de FDP	Incerteza (%)
Volumes em pé	Normal	± 12
Fracção volumétrica da casca no tronco	Normal	± 33
Massa volúmica da madeira	Triangular	- 16 a +18
Fracção de carbono na biomassa	Normal	± 10
Factor de expansão da biomassa aos 5 anos	Normal	± 30
Factor de expansão da biomassa aos 10 anos	Normal	± 30
Factor de expansão da biomassa aos 15 anos	Normal	± 30
Factor de expansão da biomassa aos 25 anos	Triangular	- 22 a +30
Factor de expansão da biomassa aos 30 anos	Triangular	- 12 a +30
Factor de expansão da biomassa aos 35 anos	Triangular	- 11 a +30
Factor de expansão da biomassa aos 45 anos	Triangular	- 11 a +30
Factor de expansão da biomassa aos 50 anos	Triangular	- 11 a +30
Factor de expansão da biomassa aos 55 anos	Triangular	- 11 a +30
Factor de expansão da biomassa aos 70 anos	Triangular	- 11 a +30

3.3. Resultados

Nos pontos 3.3.1 e 3.3.2 são apresentados os resultados obtidos para a floresta de eucalipto e para a floresta de pinheiro bravo, respectivamente. As barras de erro constantes dos gráficos relativos aos *stocks* de carbono e à remoção de carbono representam os intervalos de confiança de 95% das FDPs obtidas pela aplicação do método de Monte Carlo.

3.3.1. Floresta de eucalipto

Os *stocks* de carbono na biomassa de eucalipto nos anos 1992, 1996, 1998 e 2000 foram de 6733, 6769, 10594 e 13632 Gg C, respectivamente (Figura 3.7). A amplitude relativa dos intervalos de confiança de 95% associados a estes *stocks* de carbono variou entre 35% no ano 1992 (incerteza de -13% e +22%) e 38% no ano 1996 (incerteza de -14% e +24%).

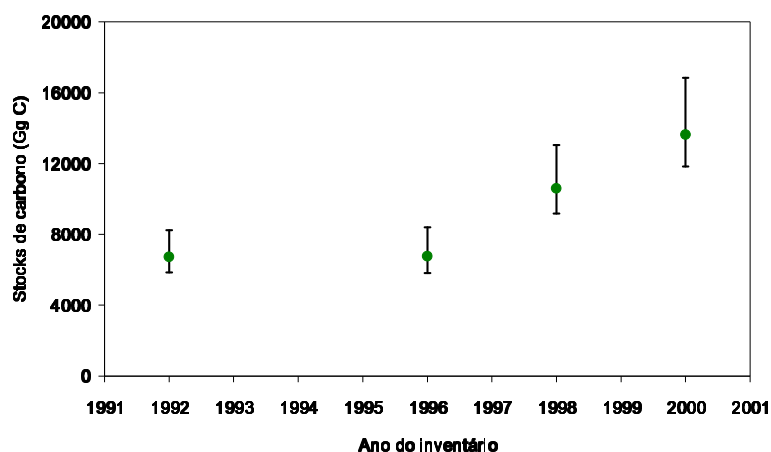


Figura 3.7 - *Stocks* de carbono na biomassa de eucalipto nos anos 1992, 1996, 1998 e 2000.

A evolução ao longo dos anos dos *stocks* de carbono na biomassa de eucalipto acompanha a tendência de aumento dos volumes em pé (21,9, 22,3, 34,9 e 45,3 Mm³ com casca e bicada em 1992, 1996, 1998 e 2000, respectivamente). Em resultado desta tendência, a biomassa de eucalipto foi um sumidouro efectivo de carbono entre os anos de 1992 e 2000, independentemente do período intermédio considerado (Figura 3.8). Assim, entre os anos de 1992 e 2000 a remoção média de carbono foi de 862 Gg C ano⁻¹ e nos anos intermédios variou entre 9 Gg C ano⁻¹ (entre 1992 e 1996) e 1912 Gg C ano⁻¹ (entre 1996 e 1998).

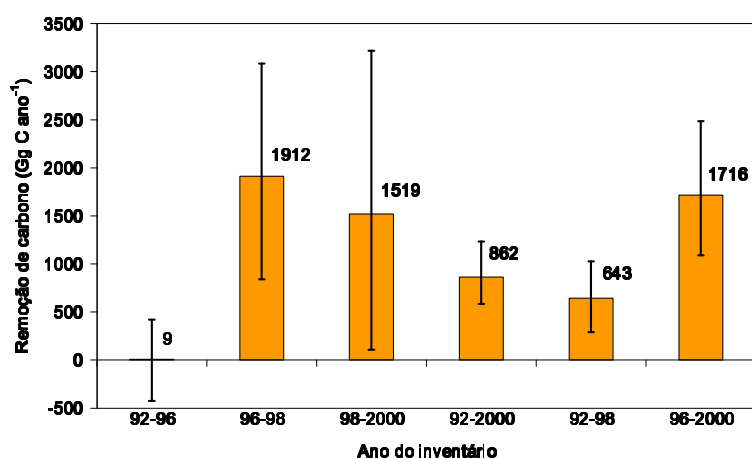


Figura 3.8 - Remoção de carbono pela biomassa de eucalipto entre os vários anos para os quais foram quantificados os *stocks* de carbono.

Na Tabela 3.7 são apresentados os valores do crescimento médio anual do tronco de eucalipto sem casca, para os vários períodos entre inventários. Estes valores foram calculados adicionando o volume de madeira removido da floresta durante o período compreendido entre dois inventários (dados da DGF), à diferença entre os volumes em pé existentes entre esses inventários, e considerando a área de ocupação média dada nos dois inventários. O valor de crescimento médio anual obtido entre 1992 e 1996 é inferior aos valores obtidos para os restantes períodos, enquanto que os valores obtidos entre 1996 e 1998 e entre 1996 e 2000 são superiores. Nos restantes períodos, os valores são próximos dos valores típicos da média nacional (Valente *et al.*, 1992; Pereira *et al.*, 1996). Isto sugere a possibilidade de o volume referente ao ano 1996 estar subavaliado, o que implica que o valor obtido para a remoção de carbono entre 1992 e 1996 pode estar estimado por defeito e os valores obtidos para a remoção de carbono entre 1996 e 1998 e entre 1996 e 2000 podem estar estimados por excesso.

Tabela 3.7 - Valores estimados para o crescimento médio anual do eucalipto.

Anos	Crescimento médio anual do tronco sem casca (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)
1992 a 1996	9,0
1996 a 1998	14,7
1998 a 2000	11,9
1992 a 2000	10,8
1992 a 1998	10,2
1996 a 2000	13,8

A incerteza associada à remoção de carbono é bastante superior à obtida para os *stocks* de carbono. A amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% variou entre 75% para a remoção entre os anos 1992 e 2000 (incerteza de -32% e +43%) e 9384% para a remoção entre os anos 1992 e 1996, em que o valor médio é muito pequeno. O percentil 2,5 apenas é negativo entre os anos 1992 e 1996, indicando a possibilidade de neste período a biomassa de eucalipto ter sido uma fonte de carbono de cerca de 425 Gg C ano⁻¹.

A Figura 3.9 mostra a contribuição relativa de cada parâmetro de entrada para a incerteza associada à remoção de carbono. Assim, o parâmetro que mais influencia a incerteza total é o factor de expansão da biomassa, contribuindo com 29 a 34% para essa incerteza, seguida da massa volúmica da madeira, que apresenta uma contribuição entre 27 e 28%. Os volumes em pé dados nos inventários contribuem com 16 a 17% para a incerteza total, e os restantes parâmetros de entrada apresentam contribuições inferiores a esta.

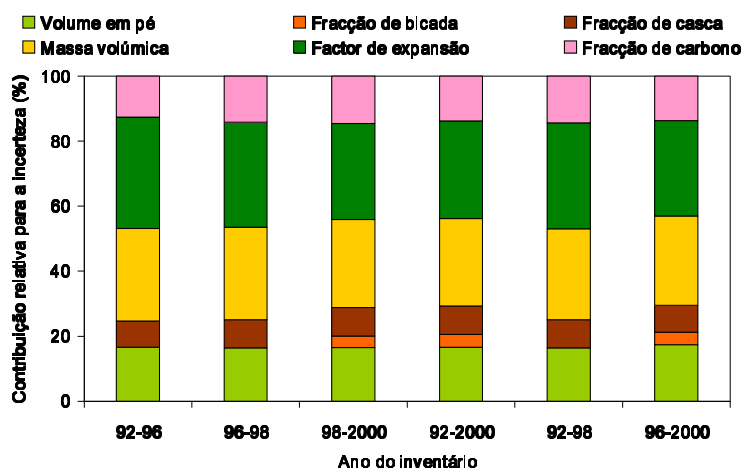


Figura 3.9 - Contribuição relativa de cada parâmetro para a incerteza total associada à remoção de carbono pela biomassa de eucalipto entre os vários anos para os quais foram quantificados os *stocks* de carbono.

Os resultados da análise de sensibilidade efectuada para avaliar a influência da substituição dos valores de massa volúmica da madeira estabelecidos em função da idade com base em medições experimentais por um valor típico de 550 kg seco m⁻³ (Figura 3.10) indicam que a utilização deste valor conduz a um aumento da remoção de carbono que varia entre 6% (para a remoção entre os anos 1998 e 2000) e 12% (para a remoção entre os anos 1996 e 1998). A única excepção ocorre entre os anos de 1992 e 1996, em que passa a haver uma fonte de carbono de cerca de 9 Gg C ano⁻¹, porque diferença entre o volume em pé nestes anos é muito pequena (cerca de 2%) e, portanto, o sentido da variação dos *stocks* de carbono é muito sensível aos factores de conversão

utilizados, acrescido do facto de a idade média dos povoamentos nos dois anos ser diferente, sendo superior em 1996. Assim, apesar de no cenário de referência o valor da média ponderada da massa volúmica no ano 1996 ser superior à do ano 1992 (514 e 509 kg seco m⁻³, respectivamente), o valor da média ponderada do factor de conversão global do volume de madeira do tronco para massa de carbono no ano 1996 é inferior ao do ano 1992 (363 e 369 kg C m⁻³ de madeira do tronco com bicada, respectivamente), por influência do factor de expansão da biomassa. No cenário da análise de sensibilidade, pelo facto de se considerarem valores de massa volúmica iguais nos dois anos, a diferença entre os valores das médias ponderadas do factor de conversão global do volume de madeira do tronco para massa de carbono passa a ser maior (392 e 403 kg C m⁻³ de madeira do tronco com bicada em 1996 e 1992, respectivamente).

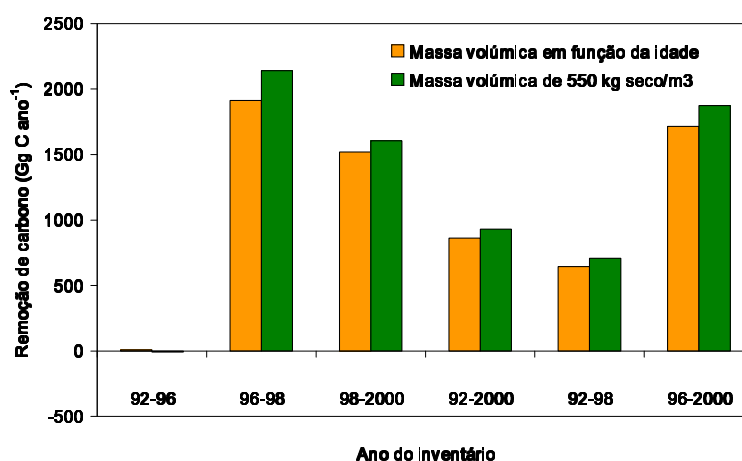


Figura 3.10 - Resultados da análise de sensibilidade: utilização de valores de massa volúmica da madeira de eucalipto definidos em função da idade com base em medições experimentais vs. utilização do valor típico de massa volúmica de 550 kg seco m⁻³.

Por outro lado, a substituição dos valores do factor de expansão da biomassa estabelecidos em função da idade com base em medições experimentais pelo valor *default* do GPG LULUCF (Figura 3.11) conduz a um aumento da remoção de carbono que varia entre 4% (para os anos 1992 a 1998) e 544% (para os anos 1992 a 1996), excepto entre os anos de 1996 e 1998, em que se verifica um decréscimo de 1% na remoção de carbono. Este decréscimo está associado ao facto de no cenário de referência a média ponderada do factor de expansão da biomassa ser maior no ano 1998 (1,45) que no ano 1992 (1,41).

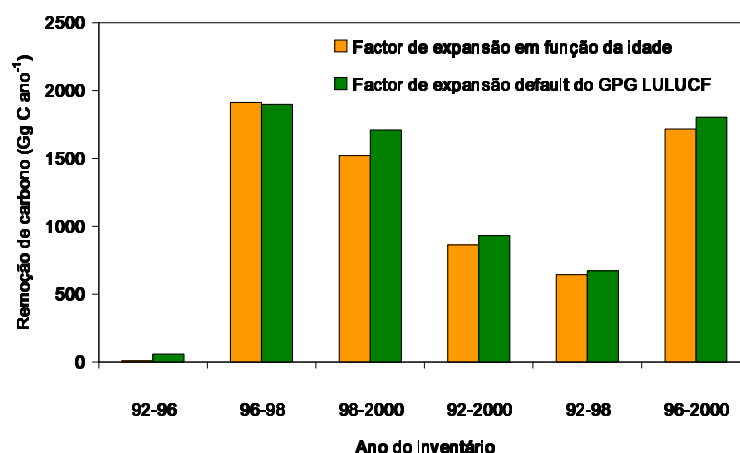


Figura 3.11 - Resultados da análise de sensibilidade: utilização de valores do factor de expansão da biomassa de eucalipto definidos em função da idade com base em medições experimentais vs. utilização do valor *default* do GPG LULUCF para o factor de expansão da biomassa.

3.3.2. Floresta de pinheiro bravo

Os *stocks* de carbono na biomassa de pinheiro bravo passaram de 20423 Gg C, no ano 1992, para 20775 Gg C, no ano 1998 (Tabela 3.8), acompanhando a tendência de aumento verificada nos volumes de madeira em pé (93,3 e 94,0 Mm³ com casca e bicada, respectivamente). A amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% para os *stocks* de carbono foi de 29% em 1992 (incerteza de -7% e +22%) e de 32% em 1998 (incerteza de -9% e +23%). A remoção de carbono entre 1992 e 1998 foi estimada em 59 Gg C ano⁻¹, sendo a incerteza associada a este valor muito elevada (Tabela 3.8). O crescimento médio anual do tronco sem casca, calculado a partir dos volumes em pé existentes nos dois inventários, do volume de madeira removido no mesmo período (dados da DGF) e da área de ocupação média, foi de 5,4 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, estando dentro da gama de valores típicos em Portugal (IF, 1993; Cruz e Sousa, 1999).

Tabela 3.8 - *Stocks* e remoção de carbono associados à biomassa de pinheiro bravo.

	Valor médio	Percentil 2,5	Percentil 97,5
<i>Stocks</i> de carbono na biomassa em 1992 (Gg C)	20423	19009	24828
<i>Stocks</i> de carbono na biomassa em 1998 (Gg C)	20775	18875	25641
Remoção de carbono de 1992 a 1998 (Gg C ano⁻¹)	59	-643	808

A contribuição relativa de cada parâmetro de entrada para a incerteza total associada à remoção de carbono é apresentada na Figura 3.12. O factor de expansão da biomassa é também, neste

caso, a principal fonte de incerteza, apesar de os outros parâmetros apresentarem contribuições da mesma ordem de grandeza.

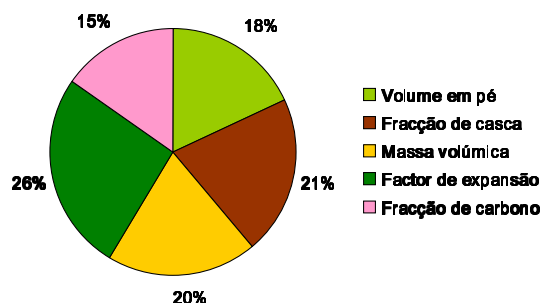


Figura 3.12 - Contribuição relativa de cada parâmetro para a incerteza total associada à remoção de carbono pela biomassa de pinheiro bravo entre os anos de 1992 e 1998.

Os resultados da análise de sensibilidade indicam que a substituição do valor de massa volúmica típico ($450 \text{ kg seco m}^{-3}$) pelos valores de massa volúmica obtidos por Castéra *et al.* (1999) conduz a um acréscimo da remoção de carbono de cerca de 15% (para 68 Gg C ano^{-1}), pois com a utilização destes valores a média ponderada da massa volúmica no ano 1998 ($423 \text{ kg seco m}^{-3}$) excede a média ponderada no ano 1992 ($421 \text{ kg seco m}^{-3}$).

Por outro lado, com a utilização do valor *default* do GPG LULUCF para o factor de expansão da biomassa (1,36), a remoção de carbono sofre uma redução, da ordem dos 58%, para 25 Gg C ano^{-1} , já que no cenário de referência a média ponderada do factor de expansão é diferente nos dois anos, sendo superior no ano 1998 (1,40, face a 1,39 no ano 1992).

3.4. Discussão

Neste capítulo foi aplicado o método *stock change* para quantificar o balanço de carbono na biomassa aérea da floresta portuguesa de eucalipto e de pinheiro bravo. O balanço de carbono obtido com este método reflecte todas as alterações do uso do solo e todas as perturbações (cortes, fogos, pragas e doenças) a que a floresta esteve sujeita no período compreendido entre dois inventários. Foram utilizados parâmetros para converter os volumes de madeira em pé para massa de carbono na biomassa aérea total específicos para o eucalipto e para o pinheiro bravo,

embora para este último tenha sido notória a escassez de informação existente no que respeita a povoamentos portugueses.

Assim, os valores usados para a fracção volumétrica de casca no tronco de eucalipto diminuem com o aumento da idade, sendo esta tendência confirmada em outros estudos realizados em Portugal (Pereira e Araújo, 1990; Pereira e Miranda, 1992; Pereira, 1994; Quilhó e Pereira, 2001). Embora para o pinheiro bravo seja esperada a mesma tendência de variação em função da idade, a informação disponível não permitiu tal nível de detalhe. De facto, em povoamentos franceses, Porté *et al.* (2002) reconhecem a variação da fracção mássica de casca no tronco com a idade, e embora tenham analisado a massa volúmica da madeira em diferentes idades, não fizeram o mesmo em relação à massa volúmica da casca, não permitindo obter a variação da fracção volumétrica de casca com a idade. Por outro lado, Pinto (2004) observou que em povoamentos portugueses de pinheiro bravo a fracção volumétrica de casca no tronco variava com a idade, sendo, em média, de 0,14 em árvores com 83 anos e entre 0,20 e 0,38 em árvores com idades compreendidas entre 42 e 55 anos, mas não fornece informação para árvores mais jovens.

Para a massa volúmica do eucalipto foi considerado um aumento com a idade, tal como observado noutros estudos realizados com o eucalipto em Portugal (Pereira, 1994; Jorge, 1999; Miranda *et al.*, 2001; Quilhó e Pereira, 2001). Em relação ao pinheiro bravo, esta tendência apenas foi admitida no cenário da análise de sensibilidade, usando valores obtidos por Castéra *et al.* (1999), já que as condições em que tais valores foram obtidos não são conhecidas. Além disso, os resultados obtidos por Porté *et al.* (2002), em povoamentos franceses de 5, 26 e 32 anos, e por Fonseca (1989), em povoamentos portugueses de 34, 39 e 55 anos, não corroboram esta tendência.

O factor de expansão da biomassa foi, tanto para o eucalipto como para o pinheiro bravo, estabelecido em função da idade, sendo maior quanto mais jovem o povoamento. Para o eucalipto têm vindo a ser realizados estudos onde as várias componentes da árvore foram medidas, possibilitando a comparação com os valores usados no presente estudo para todas as idades, excepto para os 16 anos. Assim, os valores do factor de expansão sugeridos por Fabião (1986) para povoamentos entre os 10 e os 14 anos (entre 1,27 e 1,34³) são concordantes com os adoptados no presente estudo para essas idades (entre 1,23 e 1,38). Do mesmo modo, os valores obtidos por Madeira e Pereira (1991) em povoamentos com 1 ano de idade (entre 2,60 e 3,80) não diferem substancialmente do valor obtido para esta idade a partir da equação usada para estimar o factor de expansão, apresentada na Figura 3.4 (3,00). Pelo contrário, os valores determinados por Madeira e Pereira (1991) para povoamentos com 2 anos de idade (entre 1,71 e 2,08) são

³ Considerando uma fracção mássica de casca no tronco de 0,125.

inferiores ao usado no presente estudo (2,38). O mesmo sucede em relação aos valores obtidos por Madeira *et al.* (2002b) para povoamentos com 6 anos de idade (entre 1,36 e 1,44³, enquanto que no presente estudo foi considerado 1,64).

Os valores do factor de expansão da biomassa para o pinheiro bravo foram estabelecidos com base no estudo de Porté *et al.* (2002), para condições francesas, dado que a informação relativa à repartição do carbono pelas componentes das árvores desta espécie na literatura nacional é escassa (Correia, 2004). Esta última autora considerou um factor de expansão médio de 1,34⁴ numa floresta “normal” com árvores dos 0 aos 80 anos (todas as idades estão representadas e ocupam a mesma área), um valor semelhante aos usados no presente estudo a partir dos 30 anos (1,35 e 1,36).

Para a fracção de carbono na biomassa foi adoptado o valor genérico de 0,50, amplamente utilizado em balanços de carbono à floresta. A fracção de carbono medida por Azevedo (2000) nas folhas, ramos e casca de eucalipto rondou 0,48, estando abrangida pela gama de incerteza considerada para este parâmetro.

Para a floresta de eucalipto, os *stocks* de carbono foram determinados para quatro anos, nomeadamente 1992, 1996, 1998 e 2000, o que permitiu quantificar o balanço de carbono médio em seis períodos diferentes. Para o pinheiro bravo, os inventários florestais mais recentes são relativos apenas aos anos de 1992 e 1998, tendo a remoção de carbono sido contabilizada entre esses anos. Os *stocks* de carbono obtidos foram superiores na floresta de pinheiro bravo, mas a remoção de carbono foi superior na floresta de eucalipto, excepto no período compreendido entre os anos de 1992 e 1996 em que a remoção de carbono poderá estar estimada por defeito. Os valores obtidos para a remoção de carbono são inferiores aos valores referidos, nos mesmos períodos, por outros autores para a totalidade da floresta portuguesa (UNECE/FAO, 2000; Dong *et al.*, 2003), mas são superiores aos estimados especificamente para a floresta de eucalipto e pinheiro bravo por Ferreira *et al.* (2004).

A incerteza associada aos valores obtidos para a remoção de carbono é relativamente elevada. A incerteza associada ao factor de expansão da biomassa é a que mais contribui para a incerteza total tanto no caso do eucalipto como no do pinheiro bravo, embora as contribuições da massa volúmica da madeira, principalmente no eucalipto, e da fracção volumétrica de casca, no pinheiro bravo, também sejam importantes. Assim, a redução da incerteza total depende sobretudo da redução da incerteza nestes parâmetros, o que, contudo, pode ser difícil de concretizar, na medida

⁴ Considerando uma fracção mássica de casca no tronco de 0,1.

em que lhes está normalmente associada uma elevada variabilidade natural (Pereira, 1994; Castéra *et al.*, 1999; Jorge, 1999; Miranda *et al.*, 2001; Lehtonen *et al.*, 2004).

3.5. Conclusões

As principais conclusões a reter do trabalho desenvolvido no âmbito do presente capítulo são:

- a biomassa aérea de eucalipto e de pinheiro bravo foi um sumidouro efectivo de carbono nos períodos analisados. Para a floresta de eucalipto, a remoção média de carbono foi estimada em 862 Gg C ano⁻¹ entre os anos de 1992 e 2000 e nos anos intermédios variou entre 9 Gg C ano⁻¹ (entre 1992 e 1996) e 1912 Gg C ano⁻¹ (entre 1996 e 1998). Para a floresta de pinheiro bravo, a remoção de carbono foi avaliada em 59 Gg C ano⁻¹ entre os anos de 1992 e 1998;
- a incerteza associada aos valores obtidos para a remoção de carbono foi relativamente elevada (a amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% foi, no mínimo, de 75%), sendo influenciada sobretudo pela incerteza no factor de expansão da biomassa, na massa volúmica da madeira e, no caso do pinheiro bravo, também pela incerteza na fracção volumétrica de casca;
- os resultados da análise de sensibilidade obtidos mostram a importância da utilização de factores de conversão específicos das espécies em causa e da estrutura etária existente em cada inventário.

Capítulo 4

Emissões de CO₂ de origem fóssil na floresta de eucalipto e de pinheiro bravo

4.1. Introdução

No âmbito das actividades de gestão florestal são realizadas diversas operações mecanizadas e motomanuais que contribuem para a emissão de CO₂ com origem na queima de combustíveis fósseis. As operações mecanizadas são executadas por máquinas motorizadas, onde todos os esforços são suportados pela máquina, tendo o operador apenas o papel de conduzir e manobrar a máquina. Nas operações motomanuais o trabalho de deslocação do equipamento é realizado pelo operador e a execução da operação propriamente dita é realizada à custa da energia fornecida por um motor.

4.1.1. Operações realizadas no âmbito da gestão florestal

O tipo e a sequência das operações efectuadas na gestão dos povoamentos florestais de eucalipto e de pinheiro bravo em Portugal dependem de vários factores, nomeadamente das características ecofisiológicas das espécies, das características da estação, dos objectivos da exploração, do tipo de regime e das possibilidades económicas dos proprietários (Correia e Oliveira, 1999; FPDF, 2001a; FPDF, 2001b).

Nos povoamentos de eucalipto existem dois regimes silvícolas passíveis de serem adoptados, consoante os objectivos de exploração do povoamento. O regime de talhadia (em que a continuidade dos povoamentos é garantida pelo aproveitamento dos rebentos de origem caulinar ou radical) é usado quando o objectivo é a produção de madeira para celulose. O regime de alto fuste (em que a continuidade dos povoamentos é feita através da via seminal ou de plantação, originando indivíduos de maiores dimensões e explorados em revoluções mais longas do que no regime de talhadia) é usado quando o objectivo é a produção de madeira para serração. Em Portugal, o regime dominante para o eucalipto é o de talhadia visto que o principal objectivo é a produção de madeira para celulose (FPFP, 2001a).

A silvicultura do pinheiro bravo é sempre realizada em regime de alto fuste, já que esta espécie não rebenta de toça (FPFP, 2001b). O principal objectivo da exploração da floresta de pinheiro bravo em Portugal é a produção de madeira para a indústria. Paralelamente, ainda se realiza a produção de resina em algumas regiões do país, constituindo uma actividade particularmente importante para os pequenos proprietários devido ao seu carácter anual (Oliveira, 1999).

As actividades de gestão dos povoamentos florestais de eucalipto e de pinheiro bravo em Portugal são normalmente agrupadas nas seguintes fases:

- preparação do terreno;
- instalação dos povoamentos florestais;
- condução dos povoamentos florestais;
- exploração florestal;
- estabelecimento da rede viária e divisional.

4.1.1.1. Preparação do terreno

A preparação do terreno visa criar ou melhorar as condições necessárias à instalação e ao crescimento das espécies florestais e inclui intervenções realizadas quer acima do solo quer no próprio solo, tais como o controlo da vegetação espontânea, a eliminação de cepos e a mobilização do solo.

O controlo da vegetação espontânea consiste na sua eliminação total ou parcial, de modo a facilitar os trabalhos subsequentes de mobilização do solo e de execução das sementeiras e plantações e também eliminar a competição por ela exercida relativamente a água, luz e nutrientes, proporcionando assim boas condições de desenvolvimento às plantas que se irão instalar. A selecção das técnicas a adoptar, que incluem soluções manuais, mecanizadas, químicas e de recurso ao fogo controlado, depende do tipo de vegetação a eliminar, do declive do

terreno e do tipo de solo (Correia e Oliveira, 1999). De entre as soluções mecanizadas, as mais comuns são a gradagem e a utilização de corta-matos.

Na gradagem são usadas grades de discos, acopladas ou rebocadas a tractores, que cortam, misturam e enterram, não só a parte aérea da vegetação, como também o seu sistema radical. Em simultâneo, é efectuada uma mobilização superficial do solo (no máximo até 40 cm de profundidade).

Os corta-matos são alfaías de peças múltiplas rotativas (correntes, facas ou martelos) que se acoplam a tractores e que apenas cortam a vegetação acima do solo.

É de salientar que, tanto a gradagem como os corta-matos, não são adequados para estações com pedregosidade elevada nem com declives superiores a 30-35% (Louro *et al.*, 2000). Além disso, a gradagem é desaconselhada na presença de herbáceas, uma vez que a mobilização do solo vai criar condições favoráveis à germinação das sementes e, deste modo, pode ter um efeito oposto ao pretendido (Correia e Oliveira, 1999; Louro *et al.*, 2000).

Quanto à eliminação de cepos, é uma operação que não é nem técnica nem economicamente aconselhável para espécies exploradas em regime de alto fuste (Teixeira, 1998), como é o caso do pinheiro bravo. Para o eucalipto, que é explorado em regime de talhadia, torna-se por vezes necessário proceder à destruição dos cepos no próprio local e, em alguns casos, ao seu arranque. A destruição dos cepos pode ser efectuada através de meios mecânicos, dos quais existem vários tipos (pinças, lâminas destroçadoras, brocas, cutelos, etc.) e também por métodos químicos. O arranque dos cepos é normalmente realizado com equipamentos mecânicos tais como dentes de *ripper* ou pinças.

A mobilização do solo tem como objectivos promover a sua descompactação, melhorando o arejamento, a infiltração e a retenção de água e também aumentar a profundidade útil e eliminar horizontes impermeáveis que possam existir. São vários os modos de mobilização do solo, que podem ser aplicadas individualmente ou associadas, dependendo das condições do local: abertura de covas e covachos, ripagem, subsolagem, lavoura, armação do terreno em vala e câmor e construção de terraços. Estas operações são executadas de forma mecanizada, embora a abertura de covas e covachos também possa ser realizada manualmente. O tipo de operação a adoptar num determinado local depende de vários aspectos técnicos tais como o tipo de solo, o seu material originário e o declive do terreno (Correia e Oliveira, 1999). No entanto, aspectos de carácter financeiro e ambiental (como por exemplo o risco de erosão ou a alteração da paisagem) também podem condicionar a selecção das operações de mobilização do solo (Teixeira, 1998).

A abertura mecânica de covas e covachos, onde são introduzidas plantas ou sementes, é normalmente efectuada recorrendo a uma pá de retroescavadora ou a uma broca de eixo vertical

acoplada a tractor. Esta operação tem a vantagem de poder ser realizada na presença de afloramentos rochosos e em terrenos com declives superiores a 30%, mas não é indicada para estações com solos muito argilosos ou de areias soltas (Correia e Oliveira, 1999).

A ripagem consiste na abertura de sulcos em profundidade, provocando a ruptura dos horizontes do solo num plano vertical, mas sem os inverter. A maquinaria usada nesta operação é o tractor de rasto contínuo equipado com um, dois ou três dentes de *ripper*. A ripagem é uma técnica adequada para solos não arenosos, superficiais, compactos, impermeáveis, de baixa pedregosidade e de declives inferiores a 30% (FPFP, 2001a; FPFP, 2001b). Para além disso, em locais com precipitações médias anuais superiores a 1200 mm é especialmente útil, uma vez que favorece a infiltração das águas da chuva, impedindo assim o encharcamento do solo; pelo contrário, em locais secos é de evitar, pois pode acentuar o défice hídrico à superfície (Louro *et al.*, 2000).

A subsolagem é uma operação semelhante à ripagem, diferindo desta pelo facto dos dentes do *ripper* estarem equipados com aivecas laterais que promovem adicionalmente uma ligeira armação do solo, formando-se um pequeno câmara de terra à superfície.

A lavoura promove o reviramento dos horizontes do solo de modo a obter uma camada mobilizada de espessura uniforme. Normalmente é realizada com tractor ao qual se associa uma charrua reversível de discos ou de ferros. Esta técnica não é apropriada em terrenos com declives superiores a 30%, nem em solos muito argilosos, superficiais ou de elevada pedregosidade (FPFP, 2001a; FPFP, 2001b). A lavoura pode promover alguma redução da fertilidade do solo na medida em que desloca os horizontes superficiais, geralmente mais ricos em matéria orgânica e nutrientes, para zonas inacessíveis aos sistemas radicais das plantas jovens, e traz para a superfície os horizontes pedregosos ou quase estéreis; todavia, esta inversão dos horizontes apresenta a vantagem de retardar o crescimento de vegetação espontânea (Correia e Oliveira, 1999).

A armação do terreno em vala e câmara consiste na abertura de um ou dois regos contíguos, acompanhada da acumulação da terra removida a jusante. Esta operação ocasiona o rompimento e o reviramento dos horizontes do solo, cujas consequências são semelhantes às referidas a propósito da lavoura. A armação em vala e câmara é efectuada por tractor de rasto contínuo com charrua reversível de um ferro acoplada. Esta operação é indicada para solos não arenosos, profundos, de declives inferiores a 30% e de baixa pedregosidade (FPFP, 2001a; FPFP, 2001b), podendo ser executada em solos superficiais ou xistosos mas, nestes casos, é aconselhável o recurso a uma ripagem prévia (Louro *et al.*, 2000; FPFP, 2001a; FPFP, 2001b). É uma técnica particularmente adequada para as estações onde a precipitação média anual é inferior a 800 mm, já que melhora as condições de retenção de água na vala (Teixeira, 1998; Louro *et al.*, 2000).

Pode ser usada como técnica preventiva da erosão, já que o cordão de terra formado diminui a velocidade de escorrência das águas pluviais, permitindo a acumulação dos materiais arrastados ao longo das encostas (Correia e Oliveira, 1999).

A construção de terraços é uma operação realizada em encostas, que consiste na formação de plataformas horizontais paralelas às curvas de nível, com largura mínima de três metros e sujeitas a uma ripagem em todo o seu comprimento. Os terraços são criados usando tractores de rasto contínuo equipados com lâmina frontal fixa ou inclinável e *ripper* de três ferros. Esta técnica possibilita a mobilização mecanizada de terrenos com declives superiores a 30%, mas não se adequa em solos arenosos, nem com elevada pedregosidade (FPFP, 2001a). A construção de terraços origina impactes ambientais negativos, nomeadamente ao nível visual, por provocar alterações drásticas e irreversíveis na morfologia do terreno, e ao nível do aumento do risco de erosão e de degradação do solo, em resultado da destruição dos horizontes superficiais mais ricos (Correia e Oliveira, 1999; Louro *et al.*, 2000). Por outro lado, sob o ponto de vista financeiro, são poucas as situações que viabilizam a construção de terraços, já que os custos de execução são extremamente elevados e apenas nos povoamentos altamente produtivos poderão ser compensados (Teixeira, 1998). Por estes motivos, esta técnica tem vindo a ser abandonada nas florestações (Correia e Oliveira, 1999).

4.1.1.2. Instalação dos povoamentos florestais

A instalação de povoamentos florestais pode ser efectuada por regeneração natural, sementeira ou plantação. A regeneração natural consiste na germinação de sementes com origem em árvores existentes na área a arborizar ou na sua proximidade. A sementeira e a plantação são práticas de regeneração artificial que consistem, respectivamente, na colocação de sementes e de plantas produzidas em viveiro, em solo previamente preparado. A opção por um determinado tipo de instalação depende de vários factores, dos quais se destacam os objectivos do povoamento, as condições edafo-climáticas, as características específicas das espécies a instalar e os aspectos económicos (Louro *et al.*, 2000; FPFP, 2001a).

O eucalipto é normalmente instalado através de plantação, embora a regeneração natural seja fácil nos terrenos arenosos das regiões centro e norte do país (FPFP, 2001a). O uso de sementeira não é frequente devido ao risco de insucesso (associado à reduzida dimensão da semente que, por esse motivo, exige óptimas condições de fertilidade para germinar) e também devido ao facto de os povoamentos assim obtidos estarem mais dependentes das condições climáticas e serem mais heterogéneos dos que os obtidos por plantação (FPFP, 2001a).

A instalação de povoamentos de pinheiro bravo é normalmente realizada por plantação, complementada, em alguns casos, por regeneração natural (Oliveira, 1999a; Oliveira, 1999b). Actualmente, a utilização de sementeira não é uma prática comum, realizando-se apenas em arborizações de protecção (Oliveira, 1999b; Oliveira *et al.*, 2000).

A regeneração natural apresenta as vantagens de ser menos onerosa, ser de mais fácil execução, originar plantas mais adaptadas ao local e provocar menor impacte ambiental do que a regeneração artificial (Oliveira, 1999a; Oliveira *et al.*, 2000; FPFP, 2001b). Em contrapartida, apresenta algumas desvantagens que limitam a sua utilização, nomeadamente a sua aplicabilidade apenas quando os povoamentos responsáveis pela produção de semente apresentam as características genéticas desejadas para a reprodução e o facto de originar povoamentos com uma estrutura irregular (inequénia) e com distribuição aleatória das plantas no terreno, o que dificulta a condução dos povoamentos (Louro *et al.*, 2000; FPFP, 2001b). Quando é usada a regeneração natural, no termo de explorabilidade do povoamento cerca de 5% das árvores, de entre as de maior porte, não são cortadas, sendo usadas para sementão. No ano seguinte, as sementes produzidas por estas árvores poderão dar origem a cerca de 5000 plantas por hectare. Se a regeneração natural não originar plantas em quantidade suficiente devem efectuar-se acções suplementares de adensamento, normalmente por plantação.

A plantação, quer de povoamentos de eucalipto quer de pinheiro bravo, é geralmente efectuada de modo manual e, consoante a técnica usada na mobilização do solo, as plantas são colocadas em covas, ao longo do terço inferior dos cômodos ou ao longo das linhas abertas pelo *ripper* ou pelo subsolador (Emporsil e Soporcel, 1995; Louro *et al.*, 2000). Normalmente procede-se também a uma adubação à instalação, que pode ser realizada manualmente quando da mobilização do solo ou, caso se recorra à subsolagem, acoplado-se um distribuidor de adubo ao subsolador (Emporsil e Soporcel, 1995). Em alternativa, o adubo pode ser colocado manualmente no fundo da cova de plantação (Oliveira, 1999a). Se após a plantação ocorrer a morte de mais de 5% das plantas é necessário proceder à sua substituição. Esta operação é denominada de retancho e é habitualmente uma operação manual.

4.1.1.3. Condução dos povoamentos florestais

Durante a condução dos povoamentos florestais são necessárias várias intervenções culturais de modo a garantir a sua viabilidade e melhorar a qualidade do material a produzir.

Para o pinheiro bravo, as operações realizadas no âmbito da condução dos povoamentos incluem limpeza de mato, limpeza de povoamento, desramação e desbaste (Oliveira, 1999a; Oliveira, 1999b; Louro *et al.*, 2000; FPFP, 2001b).

A limpeza de mato consiste no controlo da vegetação espontânea e é realizada durante os primeiros anos do povoamento para eliminar a competição exercida sobre as árvores jovens. Esta operação deve ser repetida ao longo da vida do povoamento nas situações em que haja risco de incêndio. É vulgar a limpeza ser efectuada com grades de discos ou corta-matos entre as linhas de plantação, e manualmente nas linhas (Oliveira, 1999b; Oliveira *et al.*, 2000; FPFP, 2001b).

A limpeza do povoamento destina-se a reduzir a densidade do povoamento, sendo especialmente importante nos povoamentos instalados por regeneração natural e nas plantações a compassos muito apertados, já que cria melhores condições de sobrevivência biológica das novas árvores e de acessibilidade ao povoamento. As limpezas do povoamento são realizadas em número variável, consoante a densidade do povoamento, e podem ser executadas de forma sistemática (executada por faixas), selectiva (pé a pé) ou uma mistura das anteriores (quando é feita por faixas e entre as faixas é realizada selectivamente). A limpeza sistemática pode ser realizada recorrendo a meios mecânicos, corta-matos ou grades, desde que as árvores sejam suficientemente pequenas para permitir este tipo de equipamento; nos restantes casos deve ser utilizada a motosserra ou a limpeza pode ser efectuada manualmente (FPFP, 2001b). Geralmente as árvores cortadas durante esta operação não apresentam valor comercial significativo.

A desramação consiste na remoção de ramos da parte inferior da copa, com vista a melhorar a qualidade do lenho produzido, evitando a formação de nós na madeira. Por outro lado, constitui também uma medida de protecção contra incêndios, na medida em que dificulta o acesso das chamas às copas das árvores. Normalmente são efectuadas duas desramações durante o ciclo: a primeira, realizada entre os 5 e os 10 anos, incide sobre todas as árvores do povoamento, e a segunda, realizada em simultâneo com o primeiro desbaste, é aplicada apenas às melhores árvores do povoamento (Oliveira, 1999a; FPFP, 2001b). Atendendo ao pequeno diâmetro dos ramos a cortar (2 a 3 cm), esta operação é executada de modo manual usando serra com extensão no cabo, tesoura de poda com extensão no cabo, fouce com extensão ou fouce de lâminas circulares com extensão (Oliveira, 1999a).

Os desbastes permitem a remoção selectiva de algumas árvores do povoamento para que, no corte final, se obtenham árvores de elevada qualidade destinadas às utilizações mais nobres. Assim, com os desbastes pretende-se diminuir a densidade do povoamento (e desse modo evitar a competição entre as árvores), eliminar as árvores de pior qualidade e obter o aproveitamento de madeira antes do corte final. O primeiro desbaste faz-se normalmente entre os 15 e os 20 anos, e o intervalo entre desbastes em estações de qualidade média é de 5 a 10 anos (Oliveira, 1999b; Louro *et al.*, 2000; FPFP, 2001b). Esta operação é geralmente mecanizada, sendo efectuada com motosserra (FPFP, 2001b).

As operações associadas à condução de povoamentos de eucalipto englobam limpeza de mato, mobilizações do solo de manutenção, adubações de manutenção e selecção de varas (Emporsil e Soporcel, 1995; FPFP, 2001a).

À semelhança do que sucede com o pinheiro bravo, a limpeza de mato também é importante nos povoamentos de eucalipto, quer por motivos de competição por água e nutrientes, quer para evitar a propagação do fogo. Também neste caso é comum o recurso a métodos mecanizados entre as linhas de plantação (gradagem ou corta-matos) e métodos manuais nas linhas (Emporsil e Soporcel, 1995; FPFP, 2001a). Nos povoamentos com mais de um ano de idade também se podem usar métodos químicos (Emporsil e Soporcel, 1995).

As mobilizações do solo em povoamentos já instalados consistem na realização de gradagens no primeiro ano do povoamento e depois sempre que o solo esteja muito compactado, o que sucede normalmente de 3 em 3 ou de 4 em 4 anos (Emporsil e Soporcel, 1995; FPFP, 2001a).

As adubações de manutenção são normalmente realizadas duas ou mais vezes ao longo da vida do povoamento, nomeadamente no segundo ou terceiro ano, a meio do ciclo (quinto, sexto ou sétimo ano) e sempre que se verifiquem carências de boro. À aplicação do adubo deve seguir-se uma gradagem para promover a sua incorporação no terreno, pelo que a adubação e a mobilização do solo devem ser conciliadas. A aplicação do adubo é geralmente uma operação manual (Emporsil e Soporcel, 1995; FPFP, 2001a).

A partir da segunda rotação, inclusive, em cada toíça de eucalipto desenvolvem-se várias varas que têm de ser sujeitas a um processo de selecção, efectuado com motosserra ou manualmente, ficando apenas duas ou três por toíça, consoante o diâmetro da toíça e o vigor da rebentação (FPFP, 2001a).

4.1.1.4. Exploração florestal

A exploração florestal do eucalipto e do pinheiro bravo inclui as operações de abate, desramação, toragem, descasque, rechega e extracção, empilhamento, carregamento e transporte até ao local de transformação.

O abate inclui o corte final e, no caso do pinheiro bravo, também os cortes associados aos desbastes. Esta operação é usualmente efectuada com motosserra embora, em terrenos com declive inferior a 30%, também se possam usar processadores que, para além do corte, também realizam as operações de desramação, descasque e toragem, garantindo uma maior produtividade (FPFP, 2001a; FPFP, 2001b). Estes equipamentos tornam-se mais vantajosos quando existem grandes extensões de corte.

A desramação consiste na remoção dos ramos e da bicada após o abate e pode ser efectuada manualmente, com motosserra ou com processadores (FPFP, 2001a; FPFP, 2001b).

A toragem consiste no seccionamento transversal dos troncos abatidos, com motosserra ou processador, originando toros com dimensões que variam consoante a sua utilização futura (cerca de 2,5 m se forem para produção de pasta e painéis de fibras ou partículas, e mais de 4 m se forem para serrar ou folhear) (FPFP, 2001a; FPFP, 2001b).

O descasque, ou seja, a operação de remoção da casca, pode ser executado com descascador mecânico (de fresas, de discos ou de rolos), com processador ou manualmente (FPFP, 2001a; FPFP, 2001b).

A extracção consiste no deslocamento do material lenhoso para carregadouros localizados junto das vias principais e pode ser precedida de uma fase de rechega, em que o material existente no local de abate é deslocado para junto dos trilhos de extracção. Estas operações são normalmente mecanizadas, podendo ser efectuadas por vários tipos de máquinas (FPFP, 2001a; FPFP, 2001b; DGF, 2003):

- tractores florestais, também designados por tractores arrastadores, tractores rechegadores ou *skidders*, que movimentam o material lenhoso por arraste;
- tractores transportadores, também denominados de tractores carregadores-transportadores ou *forwarders*, que transportam o material lenhoso num reboque e, portanto, sem contacto com o solo;
- tractores agrícolas adaptados ao trabalho florestal, equipados com grua ou guincho procedendo ao arraste do material lenhoso à semelhança dos tractores florestais, ou equipados com reboque florestal e grua, tal como os tractores transportadores.

A escolha do equipamento de rechega e extracção depende, em grande parte, das condições do terreno, nomeadamente do declive, e do sentido do movimento. Por exemplo, os tractores florestais e os tractores transportadores podem trabalhar em terrenos com declive até 50% se o transporte for efectuado no sentido descendente e em terrenos com declive até 25% se o transporte se efectuar no sentido ascendente (DGF, 2003). Já os tractores agrícolas, pelas suas características, das quais se destacam a fragilidade, a tracção a apenas duas rodas e o tamanho reduzido das rodas da frente, têm dificuldade em circular em condições de terreno difíceis (DGF, 2003). A dimensão do material lenhoso também condiciona o tipo de equipamento a utilizar. Com efeito, no deslocamento de madeira já torada, é mais frequente o uso de tractores transportadores ou de tractores agrícolas adaptados com reboque florestal e grua, enquanto que a extracção de troncos inteiros é normalmente realizada por arraste com recurso a tractores florestais ou a tractores agrícolas adaptados com grua ou guincho (DGF, 2003).

O empilhamento dos toros nos carregadores pode ser efectuado manualmente ou com o mesmo equipamento usado na extracção.

Nas operações de carregamento e transporte, os toros são colocados em camiões e transportados até às unidades de consumo. O carregamento dos toros empilhados pode ser efectuado com a grua do camião ou, em alternativa, a operação de empilhamento é suprimida e o carregamento faz-se com a grua do equipamento de extracção.

4.1.1.5. Estabelecimento da rede viária e divisional

O estabelecimento duma rede viária e divisional serve de suporte à gestão dos povoamentos florestais. A rede viária integra caminhos florestais, que permitem a circulação permanente de todo o tipo de veículos, e estradões e trilhos, que se destinam à circulação de apenas certos tipos de veículos, sobretudo tractores e máquinas florestais. Os estradões e os trilhos são utilizados apenas temporariamente durante a execução de algumas tarefas pontuais, e a sua construção é actualmente desaconselhada por darem origem a desperdício de espaço e a impactos ambientais negativos, relacionados com a erosão e a degradação da qualidade da paisagem (Teixeira, 1998; Louro *et al.*, 2000). Os caminhos florestais são normalmente construídos usando tractores industriais equipados com lâmina frontal, em conjunto com outros equipamentos mecanizados, especialmente compressores, tractores com atrelados e escavadoras.

A rede divisional é constituída por aceiros e faixas corta-fogo que visam delimitar os povoamentos e dificultar, reduzir ou impedir a propagação de incêndios. Os aceiros são faixas onde toda a vegetação é destruída enquanto que nas faixas corta-fogo é mantida alguma vegetação. Os aceiros podem ser abertos e mantidos com o mesmo tipo de equipamento mecanizado utilizado para efectuar o controlo da vegetação espontânea, nomeadamente corta-matos e grades de discos, enquanto que a construção de faixas corta-fogo é normalmente uma operação manual devido ao carácter selectivo da limpeza da vegetação.

4.1.2. Emissões de CO₂ associadas às operações florestais

As emissões de CO₂ associadas às operações florestais são geralmente estimadas com base na quantidade de combustíveis consumidos na sua execução e em factores de emissão específicos para cada tipo de combustível (Karjalainen e Asikainen, 1996; Berg, 1997; Athanassiadis, 2000; Berg e Lindholm, 2001; Schwaiger e Zimmer, 2001; Berg e Karjalainen, 2003; Berg e Lindholm, 2005). A quantidade de combustíveis consumidos nas operações florestais pode ser obtida

directamente com base em dados reais de operação ou pode ser estimada por correlação a partir de outros parâmetros.

Berg e Lindholm (2005) estimaram directamente o consumo de combustíveis, a partir dos dados estatísticos de operação das máquinas e de aquisição de combustíveis, para as operações conduzidas no âmbito da preparação do terreno, da instalação e condução de povoamentos florestais e da exploração florestal, em três regiões da Suécia. Por sua vez, Athanassiadis *et al.* (1999) também quantificaram directamente o consumo de combustíveis na Suécia, mas apenas para as operações realizadas com processadores e tractores transportadores que, segundo estes autores, cortam e extraem cerca de 90% do volume de madeira explorado naquele país. Assim, os consumos de combustíveis foram obtidos para as condições práticas de operação, através de um questionário enviado a proprietários deste tipo de equipamento distribuídos por todo o país. Finalmente, Klvac *et al.* (2003) mediram directamente o consumo de combustíveis devido ao uso de processadores e tractores transportadores na Irlanda, onde estes equipamentos cortam e extraem mais de 95% da madeira.

A segunda alternativa acima referida para determinar a quantidade de combustíveis consumidos nas operações florestais consiste na utilização dos tempos de trabalho necessários para executar as operações e dos correspondentes consumos horários de combustível. Estes últimos variam em função do tipo de operação, do tipo de equipamento, das condições de operação, das condições climáticas, da manutenção dada ao equipamento e da eficiência do operador (Athanassiadis, 2000; Klvac *et al.*, 2003). Por sua vez, os tempos de trabalho dependem de vários aspectos específicos para cada tipo de operação, dos quais se destacam os seguintes:

- nas operações destinadas ao controlo da vegetação espontânea os tempos de trabalho dependem das características da máquina (potência e tipo de alfaia), do porte da vegetação, do declive do terreno, da pedregosidade e da área efectiva de intervenção relativamente à área total (Emporsil e Soporcel, 1995; Louro *et al.*, 2000; FFPF, 2001a; FFPF, 2001b; CAO, 2003b);
- na eliminação de cepos os tempos de trabalho dependem do tipo de equipamento utilizado, do declive do terreno e da quantidade de cepos (CAO, 2003b);
- nas operações de mobilização do solo os tempos de trabalho dependem das características da máquina (potência e, no caso da ripagem e subsolagem do número de dentes de *ripper*, no caso da gradagem do tipo de grade, no caso da abertura de covas do tipo de equipamento), da experiência do operador, do declive do terreno, da pedregosidade e da textura do solo. No caso da ripagem, subsolagem e armação em vala e câmara os tempos de trabalho dependem ainda do afastamento das linhas abertas e na abertura de covas também dependem da dimensão das covas ou covachos e do compasso de instalação. No caso da ripagem e subsolagem também dependem da compacidade do solo e da

desagregabilidade do substrato rochoso, enquanto que no caso da armação em vala e câmore dependem também da profundidade do terreno (Emporsil e Soporcel, 1995; Louro *et al.*, 2000; FFP, 2001a; FFP, 2001b; CAOF, 2003b);

- na abertura de caminhos florestais os tempos de trabalho dependem da densidade de caminhos (comprimento de caminhos por unidade de área de solo), da largura e características dos caminhos, do tipo e potência do equipamento utilizado, e das características do terreno, em especial do declive, da pedregosidade, da textura do solo e do tipo de substrato rochoso (Emporsil e Soporcel, 1995; CAOF, 2003a);
- na beneficiação de caminhos florestais os tempos de trabalho dependem do tipo e potência do equipamento utilizado e da área e estado do caminho a beneficiar (CAOF, 2003a);
- na abertura de aceiros os tempos de trabalho dependem da densidade e da largura dos aceiros, do tipo e potência do equipamento utilizado, das características do terreno (declive, pedregosidade, textura do solo), e das características da vegetação (Emporsil e Soporcel, 1995; CAOF, 2003a);
- na beneficiação de aceiros os tempos de trabalho dependem da área de aceiros a beneficiar, do tipo e potência do equipamento utilizado e das características da vegetação (CAOF, 2003a);
- no abate e processamento (desramação, toragem e descasque) das árvores os tempos de trabalho dependem do tipo e potência do equipamento utilizado, da experiência do operador, da densidade do povoamento, das dimensões das árvores cortadas e da abundância de ramos (Holtzschner e Lanford, 1997; Berg e Lindholm, 2001; Schwaiger e Zimmer, 2001);
- na extracção os tempos de trabalho dependem do tipo, potência e capacidade de carga do equipamento utilizado, da experiência do operador, da dimensão dos toros, da distribuição no terreno dos toros a transportar, das características do terreno e da distância a percorrer (Berg, 1997).

Karjalainen e Asikainen (1996), Berg (1995) e Schwaiger e Zimmer (2001) recorreram aos tempos de trabalho e aos consumos horários de combustível para quantificar os combustíveis consumidos nas operações florestais. Karjalainen e Asikainen (1996) usaram valores típicos desses parâmetros para as condições vigentes na Finlândia no que se refere às operações associadas à preparação do terreno, à instalação e condução de povoamentos florestais e à exploração florestal. Uma abordagem semelhante foi adoptada por Berg (1995), num estudo onde são analisadas as mesmas operações, mas na Suécia. Do mesmo modo, o consumo de combustíveis durante a exploração florestal, em 12 países europeus¹, foi avaliado por Schwaiger e Zimmer (2001) com base em tempos de trabalho e consumos horários de combustível considerados

¹ Alemanha, Áustria, Dinamarca, Eslovénia, Finlândia, França, Grécia, Irlanda, Itália, Noruega, Suécia e Suíça.

típicos e representativos das operações florestais nesses 12 países. Nos três estudos atrás referidos, os tempos de trabalho das operações inseridas na exploração florestal foram expressos por unidade de volume de madeira cortada ou extraída, enquanto que para as operações associadas às restantes fases foram usados tempos de trabalho expressos por unidade de área intervencionada. Assim, para estimar os consumos totais de combustíveis nos respectivos países, foram tomados em consideração os volumes de madeira cortados e extraídos, diferenciados por tipo de operação da exploração florestal (corte com motosserra, corte com processador, extracção com tractor transportador, etc.), bem como as áreas efectivamente submetidas a cada uma das operações das restantes fases.

As emissões de CO₂ resultantes das operações florestais são geralmente pouco significativas face às emissões totais de CO₂ fóssil apuradas ao nível nacional. Tal sucede mesmo em países como a Suécia e a Finlândia, em que a floresta assume um papel predominante na economia. Segundo Berg e Lindholm (2005), as operações florestais na Suécia, em meados dos anos 90, constituíam apenas 2% das emissões totais de CO₂ equivalente do país. Esta estimativa englobou as operações associadas à produção de sementes, à preparação do terreno, à instalação e condução dos povoamentos florestais e à exploração florestal, incluindo o transporte de madeira até aos locais de transformação e o transporte de trabalhadores, maquinaria e materiais até aos locais de trabalho na floresta. Karjalainen e Asikainen (1996) concluíram que em 1993, na Finlândia, as emissões de CO₂ com origem nas operações florestais representavam menos de 4% das emissões totais de CO₂ do tráfego rodoviário e maquinaria. Neste estudo, as operações abrangidas foram a preparação do terreno, a condução dos povoamentos florestais, a construção de caminhos florestais e a exploração florestal (incluindo o transporte de madeira até aos locais de transformação).

Não obstante a modesta contribuição das emissões de CO₂ decorrentes das operações florestais no contexto nacional, a sua consideração reveste-se da maior importância na quantificação exacta e completa da absorção efectiva de CO₂ por parte da floresta, ou do sector florestal (Pingoud *et al.*, 1996; Young *et al.*, 1999; Liski *et al.*, 2001; Manriquez, 2002).

4.1.3. Objectivo

O objectivo deste capítulo consiste no desenvolvimento de uma metodologia que permita o cálculo das emissões anuais de CO₂ de origem fóssil decorrentes das operações de gestão das florestas de eucalipto e de pinheiro bravo em Portugal, e a sua aplicação ao ano de referência de 2000. Em conformidade com os restantes capítulos desta tese, as emissões são expressas em termos de massa de carbono.

4.2. Metodologia

A metodologia proposta para avaliar as emissões de carbono associadas às operações florestais baseia-se nos tempos de trabalho necessários à execução das diferentes operações e nos respectivos consumos horários de combustíveis, bem como nos factores de emissão de carbono específicos para cada tipo de combustível. Dada, por um lado, a possibilidade de recorrer a diferentes operações para atingir os mesmos objectivos e, por outro lado, a escassez de informação estatística sobre a representatividade de cada operação nos povoamentos em análise, foi definido um modelo de gestão para cada tipo de povoamento e foi posteriormente efectuada uma análise de sensibilidade onde foram comparados modelos alternativos.

Nos pontos 4.2.1 e 4.2.2 é descrita a metodologia usada para calcular as emissões específicas de carbono e as emissões anuais de carbono, respectivamente. Os cenários analisados no âmbito da análise de sensibilidade são indicados no ponto 4.2.3 e a metodologia adoptada para a análise de incerteza é apresentada no ponto 4.2.4.

4.2.1. Emissões específicas de carbono

As emissões específicas de carbono, ou seja, as emissões de carbono expressas por unidade de área intervencionada ou de volume de madeira removido, causadas pela execução de cada uma das operações mecanizadas ou motomanuais, foram determinadas de acordo com a Equação 4.1.

$$EE_{ij} = TT_i \times C_{ij} \times MV_j \times FE_j \times PCI_j \times FCO_j \times 10^{-3} \quad \text{Equação 4.1}$$

onde,

EE_{ij} = emissões específicas de carbono causadas pela operação i devido ao consumo do combustível j (g C ha⁻¹ ou g C m⁻³ de madeira sem casca);

TT_i = tempo de trabalho de execução da operação i (h ha⁻¹ ou h m⁻³ de madeira sem casca);

C_{ij} = consumo do combustível j na execução da operação i (l h⁻¹);

MV_j = massa volúmica do combustível j (kg m⁻³);

FE_j = factor de emissão de carbono do combustível j (kg C GJ⁻¹);

PCI_j = poder calorífico inferior do combustível j (MJ kg⁻¹);

FCO_j = fracção de carbono oxidado do combustível j .

As emissões específicas das operações associadas à preparação do terreno, à condução dos povoamentos florestais e ao estabelecimento da rede viária e divisional foram expressas por unidade de área, já que os respectivos tempos de trabalho são normalmente estabelecidos em função dessa grandeza. Por seu lado, as emissões específicas das operações incluídas na

exploração florestal foram expressas por unidade de volume, pois os tempos de trabalho variam em função do volume cortado ou extraído.

A Tabela 4.1 mostra os valores médios adoptados para os tempos de trabalho necessários para a execução das diversas operações subjacentes à preparação do terreno, à condução dos povoamentos florestais e ao estabelecimento da rede viária e divisional. No caso da selecção de varas de eucalipto e da limpeza de povoamentos de pinheiro bravo, ambas realizadas com motosserra, os tempos de trabalho médios foram fornecidos por empresas gestoras de povoamentos. Para as restantes operações, os valores médios foram estimados a partir das gamas de variação dos tempos de trabalho encontradas na literatura e consideradas representativas das operações efectuadas actualmente em Portugal, em povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo. Os tempos de trabalho sugeridos em cada fonte bibliográfica, bem como as condições para as quais foram definidos, estão patentes nas Tabelas B.1 a B.11 do Anexo B.

Os valores considerados para os tempos de trabalho associados às operações que integram a exploração florestal são apresentados na Tabela 4.2 e constituem valores típicos para o corte final em povoamentos de eucalipto e pinheiro bravo em Portugal, fornecidos por empresas gestoras de povoamentos. Para a operação de abate e processamento da madeira foram atribuídos tempos de trabalho distintos aos povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo, que resultam essencialmente da diferença existente no tamanho das árvores. Para as operações de rechega e extracção este aspecto não se reflectiu nos valores dos tempos de trabalho, já que existem outros factores preponderantes, nomeadamente as distâncias percorridas e as condições do terreno. Na operação de carregamento, a dimensão dos toros também não determina a existência de tempos de trabalho significativamente diferentes para o eucalipto e o pinheiro bravo.

O tipo de combustível consumido em cada operação e o respectivo consumo médio por unidade de tempo de trabalho efectivo são apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.2. O gasóleo é o combustível utilizado pelos equipamentos intervenientes nas operações mecanizadas, enquanto que as operações motomanuais consomem gasolina. Para as operações de selecção de varas de eucalipto e de limpeza de povoamentos de pinheiro bravo (Tabela 4.1) e para as operações de exploração florestal (Tabela 4.2), os consumos de gasolina constituem valores típicos medidos por empresas gestoras de povoamentos. Para as restantes operações constantes da Tabela 4.1, os consumos médios de gasóleo foram obtidos a partir da potência média das máquinas envolvidas em cada operação, considerando que existe a relação linear, dada pela Equação 4.2, entre o consumo de gasóleo, expresso em litro por hora, e a potência da máquina, expressa em cavalo-vapor (Freitas, 2004).

Tabela 4.1 - Tempos de trabalho e consumos de combustível das operações associadas à preparação do terreno, à condução dos povoamentos florestais e ao estabelecimento da rede viária e divisional.

Objectivo	Operação	Tempo de trabalho (h ha ⁻¹)		Consumo de combustível (l hr ⁻¹)		Tipo de combustível	Fonte bibliográfica
		Valor médio	Gama da literatura	Valor médio	Gama da literatura		
Controlo da vegetação espontânea	Gradagem	3,5	1,5 - 5,5	13,5	9 - 18	Gasóleo	Emporsil e Soporcel (1995), Louro <i>et al.</i> (2000), FFPF (2001a), FFPF (2001b) e CAOOF (2003b)
	Corta-matos	4,5	2 - 7	8	7 - 9	Gasóleo	Louro <i>et al.</i> (2000), FFPF (2001a), FFPF (2001b) e CAOOF (2003b)
	Gradagem	1,25	1 - 1,5	11,5	9 - 14	Gasóleo	CAOF (2003b)
	Abertura de covas e covachos	3,25	2,5 - 4	8		Gasóleo	CAOF (2003b)
Mobilização do solo	Ripagem	4,25	2 - 6,5	20,5	11 - 30	Gasóleo	Barros e Salinas (1981), Emporsil e Soporcel (1995), Louro <i>et al.</i> (2000), FFPF (2001a), FFPF (2001b) e CAOOF (2003b)
	Subsolagem	3	1,5 - 4,5	14,5	11 - 18	Gasóleo	Emporsil e Soporcel (1995), Louro <i>et al.</i> (2000), FFPF (2001a), FFPF (2001b) e CAOOF (2003b)
	Lavoura	3,75	2,5 - 5	8,5	7 - 10	Gasóleo	Louro <i>et al.</i> (2000), FFPF (2001a), FFPF (2001b) e CAOOF (2003b)
	Amação em vala e câmore	2,65	0,5 - 4,8	9,5	7 - 12	Gasóleo	Louro <i>et al.</i> (2000), FFPF (2001a), FFPF (2001b) e CAOOF (2003b)
Eliminação de cepos de eucalipto Seleção de varas (motosserra) Limpeza do povoamento (motosserra)	Construção de terraços	17	13 - 21	15	14 - 16	Gasóleo	Barros e Salinas (1981), Emporsil e Soporcel (1995), Louro <i>et al.</i> (2000)
		8	6 - 10	15		Gasóleo	CAOF (2003b)
		9		1		Gasolina	
		12		1		Gasolina	
Estabelecimento da rede viária e divisional	Abertura de caminhos	1,65	0,5 - 2,8	15	14 - 16	Gasóleo	Emporsil e Soporcel (1995) e CAOOF (2003a)
	Beneficiação de caminhos	0,6	0,2 - 1	14		Gasóleo	CAOF (2003b)
	Abertura de aceiros	0,225	0,05 - 0,4	15	14 - 16	Gasóleo	Emporsil e Soporcel (1995) e CAOOF (2003a)
	Beneficiação de aceiros	0,06	0,05 - 0,07	14		Gasóleo	CAOF (2003b)

Tabela 4.2 - Tempos de trabalho e consumos de combustível das operações associadas à exploração florestal.

Espécie	Operação	Tipo de máquina	Tempo de trabalho (h m³ sem casca)	Consumo de combustível (l h⁻¹)	Tipo de combustível
Eucalipto	Abate, desramação, toragem e descasque	Motosserra (descasque manual)	0,38	1	Gasolina
		Processador	0,10	12	Gasóleo
	Rechega e extracção	Tractor agrícola adaptado	0,12	10	Gasóleo
		Tractor transportador	0,08	12	Gasóleo
Pinheiro bravo (*)	Carregamento	Grua do equipamento de rechega ou do camião	0,02	10	Gasóleo
	Rechega e extracção	Motosserra (descasque manual)	0,24	1	Gasolina
		Processador	0,07	12	Gasóleo
		Tractor agrícola adaptado	0,12	10	Gasóleo
		Tractor transportador	0,08	12	Gasóleo
	Carregamento	Grua do equipamento de rechega ou do camião	0,02	10	Gasóleo

(*) Valores associados ao corte final.

$$C_{ijk} = 0,1 \times P_{ik} \quad \text{Equação 4.2}$$

onde,

C_{ijk} = consumo do combustível j na execução da operação i com a máquina k (l h⁻¹);

P_{ik} = potência da máquina k usada na operação i (cv).

A potência média das máquinas usadas em cada operação foi calculada com base nas gamas de variação documentadas na literatura para as máquinas mais usuais em Portugal (Tabelas B.1 a B.11 do Anexo B).

Os valores utilizados para a massa volúmica (Tabela 4.3) foram de 850 kg m⁻³ para o gasóleo (Normand e Treil, 1985) e de 725 kg m⁻³ para a gasolina (Perry e Green, 1997).

Os valores adoptados para os factores de emissão de carbono, os poderes caloríficos inferiores e as fracções de carbono oxidado para o gasóleo e para a gasolina (Tabela 4.3) foram os recomendados nas *IPCC Guidelines* (IPCC, 1997b).

Tabela 4.3 - Características dos combustíveis usados nas operações florestais.

Tipo de combustível	Massa volúmica (kg m ⁻³)	Poder calorífico inferior (MJ kg ⁻¹)	Factor de emissão de carbono (kg GJ ⁻¹)	Fracção de carbono oxidado
Gasóleo	850	43,33	20,2	0,99
Gasolina	725	44,80	18,9	0,99

4.2.2. Emissões anuais de carbono

As emissões totais anuais de carbono foram quantificadas pelo somatório das emissões totais anuais das várias fases que compõem a gestão florestal (Equação 4.3).

$$ETA = ETA_{PT} + ETA_{IP} + ETA_{CP} + ETA_{RVD} + ETA_{EF} \quad \text{Equação 4.3}$$

onde,

ETA = emissões totais anuais de carbono (Gg C ano⁻¹);

ETA_{PT} = emissões totais anuais de carbono da preparação do terreno (Gg C ano⁻¹);

ETA_{IP} = emissões totais anuais de carbono da instalação dos povoamentos (Gg C ano⁻¹);

ETA_{CP} = emissões totais anuais de carbono da condução dos povoamentos (Gg C ano⁻¹);

ETA_{RVD} = emissões totais anuais de carbono da rede viária e divisional (Gg C ano⁻¹);

ETA_{EF} = emissões totais anuais de carbono da exploração florestal (Gg C ano⁻¹).

Por sua vez, as emissões totais anuais de cada fase foram calculadas a partir das emissões específicas de carbono, utilizando algoritmos de cálculo diferentes, consoante o modo como as emissões específicas de cada fase são expressas (por unidade de área intervencionada ou de volume de madeira removido) e o tipo de informação disponível.

Para as fases de preparação do terreno e de instalação e condução dos povoamentos florestais, as emissões totais anuais de carbono foram determinadas de acordo com a Equação 4.4.

$$ETA_{PTij} = ETA_{IPij} = ETA_{CPij} = \sum (EE_{ij} \times F_i) \times A \times 10^{-9} \quad \text{Equação 4.4}$$

onde,

ETA_{PTij} = emissões totais anuais de carbono da preparação do terreno, causadas pela operação i devido ao consumo do combustível j (Gg C ano⁻¹);

ETA_{IPij} = emissões totais anuais de carbono da instalação dos povoamentos, causadas pela operação i devido ao consumo do combustível j (Gg C ano⁻¹);

ETA_{CPij} = emissões totais anuais de carbono da condução dos povoamentos, causadas pela operação i devido ao consumo do combustível j (Gg C ano⁻¹);

EE_{ij} = emissões específicas de carbono causadas pela operação i devido ao consumo do combustível j (g C ha⁻¹);

F_i = frequência de execução da operação i durante o período correspondente a uma revolução (ano⁻¹);

A = área de ocupação da floresta (ha).

O procedimento de cálculo traduzido pela Equação 4.4 equivale a considerar um valor médio para as emissões específicas anuais de carbono ao longo de uma revolução (expresso por unidade de área e de tempo), válido para a área total de floresta. Esta foi a solução encontrada para ultrapassar a escassez de informação acerca das áreas anuais submetidas às diversas operações em Portugal.

Foi considerado que nos povoamentos de pinheiro bravo a duração média de uma revolução é de 45 anos (Oliveira, 1999a; Oliveira, 1999b; FPFP, 2001b), ao passo que nos povoamentos de eucalipto é de 30 anos, sendo composta por 3 rotações de 10 anos cada uma (FPFP, 2001a).

O tipo de operações executadas, e a frequência com que ocorrem durante uma revolução, foram definidos com base em modelos de gestão florestal estabelecidos para os povoamentos de eucalipto (Emporsil e Soporcel, 1995; FPFP, 2001a) e de pinheiro bravo (Oliveira, 1999b; Louro *et al.*, 2000; FPFP, 2001b), que respeitam as regras de boas práticas recomendadas para estes povoamentos. As Tabelas 4.4 e 4.5 sistematizam os modelos de gestão definidos para o eucalipto e para o pinheiro bravo, indicando cronologicamente o tipo de operações efectuadas. Ambos os modelos partem do pressuposto que a instalação dos povoamentos se faz por plantação.

Tabela 4.4 - Modelo de gestão adoptado para os povoamentos de eucalipto.

Idade (anos)	Objectivo	Tipo de operação
0	Arranque de cepos	Escavadora com enxó
	Controlo da vegetação espontânea	Gradagem
	Mobilização do solo	Ripagem + Subsolagem
1	Plantação	Manual
	Adubação à instalação	Juntamente com a subsolagem
	Retanchar	Manual
	Controlo da vegetação espontânea	Gradagem
	Mobilização do solo	
2	Controlo da vegetação espontânea	Gradagem
3	Controlo da vegetação espontânea	Gradagem
	Adubação de manutenção	Manual
5 - 7	Adubação de manutenção	Manual
	Mobilização do solo e incorporação do adubo	Gradagem
10	Abate e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
	Extracção e recarga	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua
12 - 14	Seleccção de varas	Motosserra
	Controlo da vegetação espontânea e incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
15 - 17	Adubação de manutenção	Manual
	Mobilização do solo e incorporação do adubo	Gradagem
20	Abate e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
	Extracção e recarga	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua
22 - 24	Seleccção de varas	Motosserra
	Controlo da vegetação espontânea e incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
25 - 27	Adubação de manutenção	Manual
	Mobilização do solo	Gradagem
30	Abate e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
	Extracção e recarga	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua

Tabela 4.5 - Modelo de gestão adoptado para os povoamentos de pinheiro bravo.

Idade (anos)	Objectivo	Tipo de operação
0	Controlo da vegetação espontânea	Gradagem
	Mobilização do solo	Ripagem + Subsolação
1	Plantação	Manual
	Adubação à instalação	Juntamente com a subsolação
	Retancho	Manual
1 - 5	Controlo da vegetação espontânea	2 vezes gradagem
5 - 10	Desramação baixa	Manual
	Controlo da vegetação espontânea e incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
10 - 20	1º desbaste e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
	Extracção e recarga	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua
	Desramação alta	Manual
	Controlo da vegetação espontânea e incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
20 - 30	2º desbaste e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
	Extracção e recarga	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua
	Incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
30 - 40	3º desbaste e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
	Extracção e recarga	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua
	Incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
45	Corte final e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
	Extracção e recarga	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua

As Tabelas 4.6 e 4.7 apresentam a frequência com que as operações mecanizadas e motomanuais, integradas nas fases de preparação do terreno e de condução de povoamentos florestais, são realizadas, respectivamente, em povoamentos de eucalipto e pinheiro bravo.

Tabela 4.6 - Frequência de execução das operações mecanizadas e motomanuais ao longo de uma revolução nos povoamentos de eucalipto.

Fase	Operação	Frequência de execução (número de vezes por revolução)
Preparação do terreno	Arranque de cepos	1
	Gradagem	1
	Ripagem	1
	Subsolagem	1
Condução dos povoamentos florestais	Gradagem para controlo da vegetação e mobilização do solo	5
	Gradagem para mobilização do solo	3
	Seleção de varas	2

Tabela 4.7 - Frequência de execução das operações mecanizadas e motomanuais ao longo de uma revolução nos povoamentos de pinheiro bravo.

Fase	Operação	Frequência de execução (número de vezes por revolução)
Preparação do terreno	Gradagem	1
	Ripagem	1
	Subsolagem	1
Condução dos povoamentos florestais	Gradagem para controlo da vegetação e mobilização do solo	4
	Gradagem para mobilização do solo	2

Para as áreas de ocupação foram consideradas as áreas totais de povoamentos puros e mistos dominantes. Foi assumido que as operações florestais levadas a cabo nas áreas de povoamentos mistos dominados e dispersos não são significativas. Os valores usados para as áreas de ocupação da floresta de eucalipto e de pinheiro bravo foram estimados pela Direcção-Geral dos Recursos Florestais (DGRF), com base nas áreas avaliadas na 3ª Revisão do Inventário Florestal Nacional e nas taxas de desflorestação e reflorestação (Ferreira *et al.*, 2004; IA, 2004), sendo válidos para o ano 2000 (Tabela 4.8).

Tabela 4.8 - Áreas de ocupação florestal no ano 2000.

Espécie	Área total por espécie dominante (ha)	Novas áreas de floresta (ha)
Eucalipto	683940	17500
Pinheiro bravo	971430	24400

As emissões totais anuais de carbono da fase de estabelecimento da rede viária e divisional foram quantificadas de acordo com a Equação 4.5.

$$ETA_{RVDij} = [(EE_{BCj} \times F_{BC} + EE_{BAj} \times F_{BA}) \times A + EE_{ACj} \times A_{AC} + EE_{AAj} \times A_{AA}] \times 10^{-9} \quad \text{Equação 4.5}$$

onde,

ETA_{RVDij} = emissões totais anuais de carbono do estabelecimento da rede viária e divisional, causadas pela operação i devido ao consumo do combustível j (Gg C ano⁻¹);

EE_{BCj} = emissões específicas de carbono causadas pela operação de beneficiação de caminhos devido ao consumo do combustível j (g C ha⁻¹);

EE_{BAj} = emissões específicas de carbono causadas pela operação de beneficiação de aceiros devido ao consumo do combustível j (g C ha⁻¹);

EE_{ACj} = emissões específicas de carbono causadas pela operação de abertura de caminhos devido ao consumo do combustível j (g C ha⁻¹);

EE_{AAj} = emissões específicas de carbono causadas pela operação de abertura de aceiros devido ao consumo do combustível j (g C ha⁻¹);

F_{BC} = frequência de execução da operação de beneficiação de caminhos durante o período correspondente a uma revolução (ano⁻¹);

F_{BA} = frequência de execução da operação de beneficiação de aceiros durante o período correspondente a uma revolução (ano⁻¹);

A = área de ocupação da floresta (ha);

A_{AC} = área anual sujeita à abertura de caminhos (ha ano⁻¹);

A_{AA} = área anual sujeita à abertura de aceiros (ha ano⁻¹).

Tal como indica a Equação 4.5, para as operações de beneficiação de caminhos e de aceiros, foi seguida a metodologia de cálculo descrita para as fases de preparação do terreno e instalação e condução dos povoamentos, já que as áreas anuais submetidas a estas operações são desconhecidas. Pelo contrário, para as operações de abertura de caminhos e de aceiros foi assumido que estas operações têm lugar somente nas novas áreas de floresta, cujos valores relativos ao ano 2000 são apresentados na Tabela 4.8, tendo sido estimados pela DGRF (Ferreira *et al.*, 2004; IA, 2004).

Assim, foi considerado que a beneficiação de caminhos e aceiros é efectuada duas vezes em cada rotação de eucalipto (FPFP, 2001a). A mesma frequência (0,2 ano⁻¹) foi adoptada para os povoamentos de pinheiro bravo, o que significa que estas operações se realizam 9 vezes por revolução.

As emissões totais anuais de carbono relativas à fase de exploração florestal foram calculadas segundo a Equação 4.6.

$$ETA_{EFij} = \sum (EE_{ij} \times V_i) \times 10^{-9} \quad \text{Equação 4.6}$$

Onde,

ETA_{EFij} = emissões totais anuais de carbono da exploração florestal, causadas pela operação i devido ao consumo do combustível j (Gg C ano⁻¹);

EE_{ij} = emissões específicas de carbono causadas pela operação i devido ao consumo do combustível j (g C m⁻³ de madeira sem casca);

V_i = volume anual de madeira cortado ou extraído da floresta pela operação i (m³ de madeira sem casca ano⁻¹).

Os volumes de madeira removidos da floresta de eucalipto e de pinheiro bravo no ano 2000 são apresentados na Tabela 4.9, e têm como fonte a DGF. A informação disponível não permitiu efectuar a diferenciação entre a madeira de pinheiro bravo proveniente de cortes finais e de desbastes.

Tabela 4.9 - Volumes de madeira cortados no ano 2000.

Espécie	Volume de madeira cortado (m³ sem casca)
Eucalipto	5449000
Pinheiro bravo	5182000

Nos modelos de gestão adoptados, o abate, a desramação e a toragem da madeira são efectuados com motosserra, o descasque é manual e a extracção é realizada com tractor agrícola adaptado (Tabelas 4.4 e 4.5).

4.2.3. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade visou avaliar os efeitos induzidos nas emissões anuais de carbono, na sequência de alterações efectuadas aos modelos de gestão adoptados. É de salientar que estas

alterações são compatíveis com as regras de boas práticas de gestão florestal. Os cenários analisados foram os seguintes:

- alteração do tipo de instalação dos povoamentos de pinheiro bravo: plantação *vs.* regeneração natural;
- alteração do modo como é efectuado o controlo da vegetação espontânea nos povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo: gradagem *vs.* gradagem e corta-matos;
- alteração do modo como é efectuada a mobilização do solo na preparação do terreno nos povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo: ripagem e subsolagem *vs.* vala e câmor;
- alteração do modo como é efectuada a exploração florestal: motosserra *vs.* processador, e tractor agrícola adaptado *vs.* tractor transportador.

4.2.3.1. Instalação dos povoamentos de pinheiro bravo

Embora, actualmente, a plantação constitua o modo mais comum de instalação dos povoamentos de pinheiro bravo, a regeneração natural continua a ser uma opção viável (Oliveira, 1999a; Oliveira, 1999b). O modelo de gestão estabelecido para os povoamentos de pinheiro bravo instalados por regeneração natural é apresentado na Tabela C.1 do Anexo C. Este tipo de gestão dispensa a preparação do terreno mas, em contrapartida, requer a realização de limpezas do povoamento para reduzir a sua densidade. Assim, até aos 5 anos de idade foi considerada a realização de duas limpezas do povoamento, efectuadas em conjunto com o controlo da vegetação espontânea por gradagem, pelo que não constituem operações adicionais face ao modelo de gestão por plantação. Entre os 5 e os 10 anos de idade foi considerada uma limpeza adicional do povoamento, efectuada com motosserra dada a maior dimensão das árvores. A frequência com que as operações mecanizadas e motomanuais das fases de condução dos povoamentos e de estabelecimento da rede viária e divisional são realizadas ao longo de uma revolução está sistematizada na Tabela C.2 do Anexo C.

4.2.3.2. Controlo da vegetação espontânea

Nos modelos de gestão adoptados no cenário de referência (Tabelas 4.4 e 4.5), o controlo da vegetação espontânea é sempre efectuado por gradagem. Foi analisado um modelo de gestão alternativo, em que o corta-matos é usado em substituição da gradagem, quando a gradagem tem como único objectivo a eliminação da vegetação espontânea. No caso do eucalipto, isto sucede na fase de preparação do terreno e nos segundo e terceiro anos após a instalação. No caso do pinheiro bravo, esta situação verifica-se também na preparação do terreno e ainda por duas vezes

entre o primeiro e o quinto ano de idade. A gradagem foi mantida quando, em simultâneo com o controlo da vegetação, há necessidade de mobilizar o solo (no primeiro ano dos povoamentos de eucalipto) e de incorporar no solo material lenhoso (proveniente da selecção de varas de eucalipto e das desramações e primeiro desbaste efectuados nos povoamentos de pinheiro bravo).

Nas Tabelas C.3 e C.5 do Anexo C são apresentados, respectivamente, os modelos de gestão dos povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo, quando é usado o corta-matos para controlo da vegetação espontânea. As correspondentes frequências de execução das operações mecanizadas e motomanuais associadas às fases de preparação do terreno, condução dos povoamentos e estabelecimento da rede viária e divisional encontram-se resumidas nas Tabelas C.4 e C.6 do Anexo C.

4.2.3.3. Mobilização do solo

As operações de mobilização do solo durante a preparação do terreno são variadas, podendo ser usadas isoladamente ou em conjunto. Nos modelos de gestão adoptados no cenário de referência (Tabelas 4.4 e 4.5) ocorre uma mobilização do solo intensiva, que consiste na execução de uma ripagem seguida de subsolagem. Como alternativa, foi analisado um modelo de gestão em que a mobilização do solo se limita à armação do terreno em vala e câmor, a operação de mobilização do solo para preparação do terreno com menores emissões específicas de carbono.

Os modelos de gestão em que o solo é mobilizado com recurso à vala e câmor são descritos nas Tabelas C.7 e C.9 do Anexo C, respectivamente para os povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo. As Tabelas C.8 e C.10 do Anexo C indicam a frequência de execução das operações mecanizadas e motomanuais associadas às fases de preparação do terreno, condução dos povoamentos e estabelecimento da rede viária e divisional.

4.2.3.4. Exploração florestal

Na fase de exploração florestal foi analisada a utilização de processador em alternativa à motosserra, para o abate e processamento da madeira, e a utilização de tractor transportador em alternativa ao tractor agrícola adaptado, para a extracção da madeira. A utilização de tractor florestal para a extracção da madeira não foi avaliada, por ser menos frequente a sua utilização nos povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo em Portugal.

4.2.4. Análise de incerteza

Para combinar as incertezas associadas aos parâmetros de entrada no modelo de cálculo das emissões de carbono foi usado o método de Monte Carlo, empregando o software @Risk (Palisade Corporation, 2004). Assim, para todos os parâmetros foram consideradas FDPs do tipo normal, sendo a incerteza expressa pelos limites inferior e superior do intervalo de confiança de 95% das FDPs (Equação 3.5).

A Tabela 4.10 sistematiza os valores de incerteza considerados para cada um dos parâmetros de entrada.

Tabela 4.10 - Incerteza associada aos parâmetros de entrada no modelo de cálculo das emissões de carbono de origem fóssil na floresta de eucalipto e pinheiro bravo.

Parâmetro	Tipo de FDP	Incerteza (%)
Tempo de trabalho da gradagem (controlo da vegetação espontânea)	Normal	± 57
Tempo de trabalho dos corta-matos	Normal	± 56
Tempo de trabalho da gradagem (mobilização do solo)	Normal	± 20
Tempo de trabalho da abertura de covas e covachos	Normal	± 23
Tempo de trabalho da ripagem	Normal	± 53
Tempo de trabalho da subsolagem	Normal	± 50
Tempo de trabalho da lavoura	Normal	± 33
Tempo de trabalho da armação em vala e cômodo	Normal	± 81
Tempo de trabalho da construção de terraços	Normal	± 24
Tempo de trabalho da eliminação de cepos de eucalipto	Normal	± 25
Tempo de trabalho da selecção de varas (motosserra)	Normal	± 60
Tempo de trabalho da limpeza do povoamento (motosserra)	Normal	± 60
Tempo de trabalho da abertura de caminhos	Normal	± 70
Tempo de trabalho da beneficiação de caminhos	Normal	± 67
Tempo de trabalho da abertura de aceiros	Normal	± 78
Tempo de trabalho da beneficiação de aceiros	Normal	± 17
Tempo de trabalho do abate e processamento da madeira com motosserra	Normal	± 60
Tempo de trabalho do abate e processamento da madeira com processador	Normal	± 30
Tempo de trabalho da extracção e recarga com tractor agrícola adaptado	Normal	± 40
Tempo de trabalho da extracção e recarga com tractor transportador	Normal	± 33
Tempo de trabalho do carregamento do camião	Normal	± 20
Consumo de combustível da gradagem (controlo da vegetação espontânea)	Normal	± 33
Consumo de combustível dos corta-matos	Normal	± 13
Consumo de combustível da gradagem (mobilização do solo)	Normal	± 22
Consumo de combustível da abertura de covas e covachos	Normal	± 20
Consumo de combustível da ripagem	Normal	± 46
Consumo de combustível da subsolagem	Normal	± 24
Consumo de combustível da lavoura	Normal	± 18
Consumo de combustível da armação em vala e cômodo	Normal	± 26

Tabela 4.10 (cont.) - Incerteza associada aos parâmetros de entrada no modelo de cálculo das emissões de carbono de origem fóssil na floresta de eucalipto e pinheiro bravo.

Parâmetro	Tipo de FDP	Incerteza (%)
Consumo de combustível da construção de terraços	Normal	± 7
Consumo de combustível da eliminação de cepos de eucalipto	Normal	± 20
Consumo de combustível da selecção de varas (motosserra)	Normal	± 30
Consumo de combustível da limpeza do povoamento (motosserra)	Normal	± 30
Consumo de combustível da abertura de caminhos	Normal	± 7
Consumo de combustível da beneficiação de caminhos	Normal	± 20
Consumo de combustível da abertura de aceiros	Normal	± 7
Consumo de combustível da beneficiação de aceiros	Normal	± 20
Consumo de combustível do abate e processamento da madeira com motosserra	Normal	± 30
Consumo de combustível do abate e processamento da madeira com processador	Normal	± 17
Consumo de combustível da extracção e recarga com tractor agrícola adaptado	Normal	± 20
Consumo de combustível da extracção e recarga com tractor transportador	Normal	± 20
Consumo de combustível do carregamento do camião	Normal	± 20
Massa volúmica do gasóleo	Normal	± 5
Massa volúmica da gasolina	Normal	± 3
Poder calorífico inferior do gasóleo e da gasolina	Normal	± 5
Factor de emissão de carbono do gasóleo e da gasolina	Normal	± 5
Fracção de carbono oxidado do gasóleo e da gasolina	Normal	± 1
Duração das revoluções dos povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo	Normal	± 20
Área de ocupação total e novas áreas	Normal	± 2
Volume de madeira cortado	Normal	± 15

A incerteza associada ao tempo de trabalho e ao consumo de combustível de cada operação das fases de preparação do terreno, condução dos povoamentos florestais e estabelecimento da rede viária e divisional foi obtida a partir das gamas de variação encontradas na literatura para estes parâmetros (Tabela 4.1), considerando que estas constituem o intervalo de confiança de 95%. Excepcionalmente, para o consumo de combustível das operações de abertura de covas e covachos, de eliminação de cepos de eucalipto e de beneficiação de caminhos e de aceiros, para as quais a literatura consultada não fornece uma gama de variação, foi adoptada uma incerteza de ±20%. Para os tempos de trabalho e consumos de combustível das operações de selecção de varas de eucalipto, de limpeza de povoamentos de pinheiro bravo e das operações da exploração florestal, os níveis de incerteza foram definidos com base em informação fornecida por empresas gestoras de povoamentos.

A incerteza associada à massa volúmica dos combustíveis foi obtida com base nas suas gamas de variação típicas: de 810 a 890 kg m⁻³ para o gasóleo (Macrae, 1966; Normand e Treil, 1985; OFEFP, 1998; Berg e Karjalainen, 2003) e de 700 a 750 kg m⁻³ para a gasolina (Macrae, 1966; Perry e Green, 1997; OFEFP, 1998).

Para o poder calorífico inferior e para o factor de emissão de carbono foi considerada uma incerteza de $\pm 5\%$ (IPCC, 2000a), enquanto que para a fracção de carbono oxidado foi adoptada uma incerteza inferior, de $\pm 1\%$.

Para a duração de cada revolução foi admitida uma incerteza de $\pm 20\%$, dado que engloba os valores típicos dos povoamentos existentes em Portugal: 8 a 12 anos para o eucalipto e 36 a 54 para o pinheiro bravo.

Relativamente às novas áreas de ocupação e às áreas de ocupação totais no ano 2000, foi considerada uma incerteza de $\pm 2\%$, próxima da incerteza associada às áreas de ocupação apuradas na 3ª Revisão do Inventário Florestal Nacional (DGF, 2001): 1,9% para o eucalipto e 1,5% para o pinheiro bravo.

Para os volumes de madeira cortados no ano 2000 foi considerada uma incerteza igual a $\pm 15\%$, conforme é sugerido na literatura para este tipo de dados (Brown *et al.*, 1999; Eggers, 2002; IPCC, 2003; Skog *et al.*, 2004).

Na aplicação do método de Monte Carlo foram efectuadas 1000 iterações e foi utilizada a amostragem *latin hypercube* (ver detalhes no Capítulo 3).

A contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza total associada às emissões de carbono foi quantificada de acordo com a Equação 3.9.

4.3. Resultados

Os resultados obtidos, respeitantes às emissões específicas de carbono, às emissões totais de carbono no ano 2000 e às emissões totais de carbono para os cenários analisados no âmbito da análise de sensibilidade, são seguidamente apresentados. A incerteza associada aos resultados está patente nos respectivos gráficos, sob a forma de barras de erro, que representam os intervalos de confiança de 95% da respectiva FDP obtida pela aplicação do método de Monte Carlo.

4.3.1. Emissões específicas de carbono

A Figura 4.1 ilustra as emissões específicas de carbono obtidas para as operações associadas à preparação do terreno, à condução de povoamentos florestais e ao estabelecimento da rede viária e divisional, realizadas em povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo.

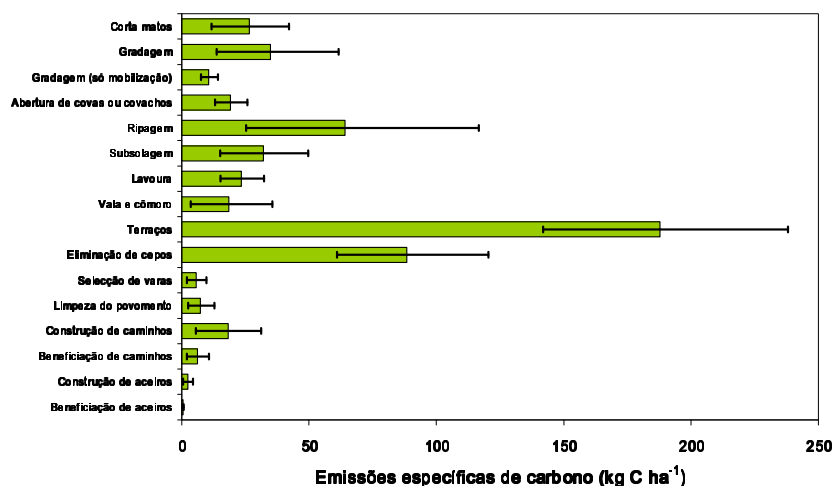


Figura 4.1 - Emissões específicas de carbono das operações associadas à preparação do terreno, à condução de povoamentos florestais e ao estabelecimento da rede viária e divisional em povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo.

Os resultados indicam que, no controlo da vegetação espontânea, a gradagem produz emissões específicas de carbono superiores às da utilização de corta-matos (35 kg C ha⁻¹ e 27 kg C ha⁻¹, respectivamente) dado que, apesar do tempo de trabalho que lhe está associado ser cerca de 20% inferior ao tempo de trabalho da utilização de corta-matos, o seu consumo horário de gasóleo é cerca de 70% superior ao daquela operação. Contudo, quando a gradagem é usada apenas com o intuito de mobilizar o solo (com a eventual incorporação, em simultâneo, de resíduos ou de adubo no solo) as suas emissões sofrem um decréscimo de cerca de 70%, resultante da diminuição verificada no tempo de trabalho e no consumo horário de gasóleo.

De entre as operações destinadas à mobilização do solo durante a preparação do terreno (excluem a gradagem), a construção de terraços é a que apresenta as emissões específicas de carbono mais elevadas (188 kg C ha⁻¹). A razão para tão importante contribuição por parte desta operação está relacionada com os elevados valores de tempo de trabalho e consumo horário de gasóleo que lhe estão associados. Com efeito, o valor do tempo de trabalho é cerca de quatro vezes superior ao tempo de trabalho da ripagem, a operação com o segundo tempo de trabalho mais importante nesta fase. Em oposição, a armação do terreno em vala e câmara é a operação

de mobilização do solo com menores emissões (19 kg C ha⁻¹), devido, em grande medida, à detenção do menor tempo de trabalho.

De entre as operações consideradas na Figura 4.1, a eliminação de cepos de eucalipto constitui a segunda maior fonte de emissões específicas de carbono, com um valor (88 kg C ha⁻¹) quase metade do associado à construção de terraços. As emissões destas operações variam na mesma proporção que os seus tempos de trabalho, já que os consumos horários de gasóleo são iguais.

As emissões específicas de carbono das operações efectuadas com motosserra, nomeadamente a selecção de varas de eucalipto (6 kg C ha⁻¹) e a limpeza dos povoamentos de pinheiro bravo (7 kg C ha⁻¹), são pouco expressivas, apesar de lhes estarem associados tempos de trabalho dos mais elevados. No entanto, o facto de o combustível ser a gasolina, e esta ter factores de emissão inferiores aos factores de emissão do gasóleo (608 g C l⁻¹, face aos 737 g C l⁻¹ emitidos pela queima de gasóleo), associado a consumos horários de gasolina bastante reduzidos, determina um valor baixo para as emissões específicas destas operações.

Independentemente de serem caracterizadas por consumos de gasóleo relativamente elevados, as operações do estabelecimento da rede viária e divisional libertam emissões específicas de carbono pouco significativas, pelo facto de os seus tempos de trabalho serem diminutos. É de notar, contudo, que as emissões associadas à construção de caminhos (18 kg C ha⁻¹) são mais expressivas que as associadas às restantes operações desta fase (0,6 kg C ha⁻¹ da beneficiação de aceiros, 2 kg C ha⁻¹ da construção de aceiros e 6 kg C ha⁻¹ da beneficiação de caminhos).

Por aplicação do método de Monte Carlo, pode concluir-se que a amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% associada às emissões específicas de carbono das operações constantes da Figura 4.1 varia entre 51%, para a construção de terraços (incerteza de -24% e +27%), e 173%, para a armação do terreno em vala e câmoros (incerteza de -81% e +92%).

A Figura 4.2 mostra as emissões específicas de carbono das operações inerentes à exploração florestal, diferenciadas por tipo de povoamento. Estas emissões variam entre 148 g C m⁻³ de madeira sem casca, para o abate e processamento de madeira de pinheiro bravo com motosserra, e 877 g C m⁻³ para a extracção de madeira com tractor agrícola. As emissões específicas de carbono associadas ao abate e processamento de madeira são menores para o pinheiro bravo, devido à maior dimensão das árvores na idade de corte. Tanto para o eucalipto como para o pinheiro bravo, as emissões da motosserra constituem cerca de 25% das emissões do processador, o equipamento alternativo para o abate e processamento da madeira. Na extracção da madeira, a utilização de tractor transportador é mais favorável, em termos de emissões, do que a utilização de tractor agrícola adaptado. A operação de carregamento da madeira apresenta emissões relativamente baixas.

As emissões específicas de carbono associadas à exploração florestal apresentam uma amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% que varia entre 57%, para o carregamento de madeira (incerteza de -28% e +29%), e 137%, para o abate e processamento de madeira de eucalipto e pinheiro bravo com motosserra (incerteza de -62% e +75%).

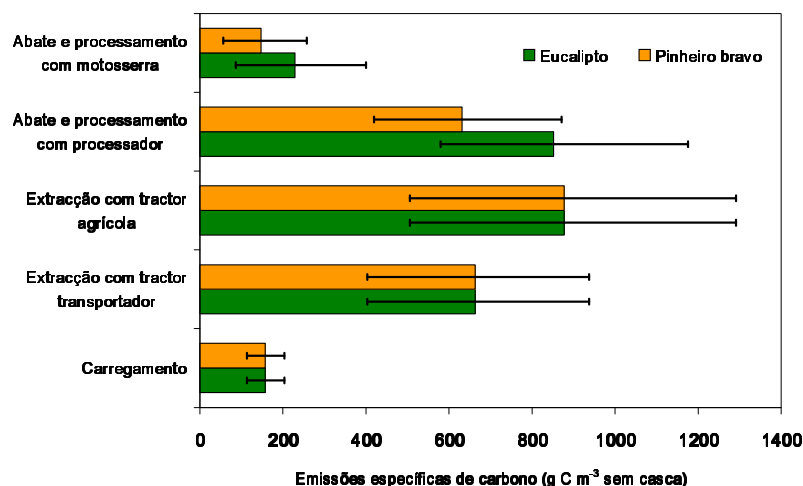


Figura 4.2 - Emissões específicas de carbono das operações associadas à exploração florestal.

4.3.2. Emissões anuais de carbono

As emissões totais de carbono das operações florestais realizadas em povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo, no ano 2000, são apresentadas na Figura 4.3, para cada uma das fases que integram as actividades de gestão desses povoamentos.

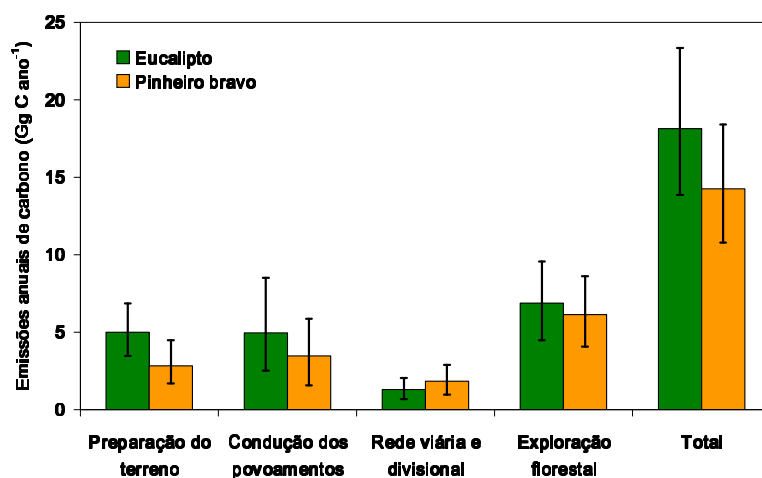


Figura 4.3 - Emissões de carbono das operações florestais realizadas no ano 2000 em povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo.

As emissões totais de carbono nos povoamentos de eucalipto foram de 18 Gg C ano⁻¹, com a exploração florestal a contribuir com 38% dessas emissões. A preparação do terreno e a condução dos povoamentos apresentaram emissões semelhantes, sendo responsáveis por, respectivamente, 28 e 27% das emissões totais de carbono dos eucaliptais. No estabelecimento da rede viária e divisional foram libertadas apenas 7% das emissões totais de carbono dos eucaliptais.

Da análise da Figura 4.4 verifica-se que a operação de gradagem, realizada várias vezes ao longo de uma revolução, para controlar a vegetação espontânea e para mobilizar o solo, é responsável por 30% das emissões totais de carbono nos povoamentos de eucalipto. É igualmente de salientar a contribuição da operação de extracção da madeira, que representa 26% das emissões totais de carbono.

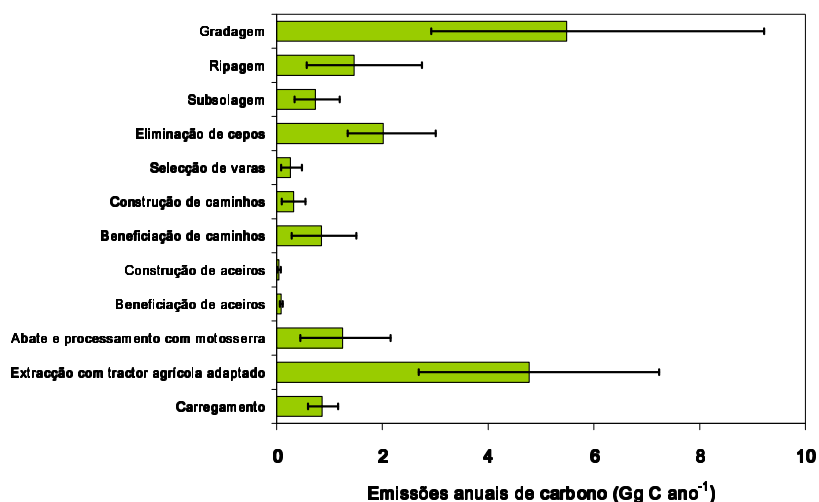


Figura 4.4 - Emissões de carbono das operações florestais realizadas no ano 2000 nos povoamentos de eucalipto.

Nos povoamentos de pinheiro bravo, as emissões de carbono totalizaram 14 Gg C ano⁻¹. Também neste caso, a fase de exploração florestal constituiu a principal fonte de carbono, sendo responsável por 43% das emissões totais. As fases de condução dos povoamentos, preparação do terreno e estabelecimento da rede viária e divisional, apresentam contribuições para as emissões totais de carbono de 24, 20 e 13%, respectivamente. À semelhança do que sucede com os povoamentos de eucalipto, as operações de gradagem e de extracção de madeira são as mais relevantes do ponto de vista das emissões de carbono (Figura 4.5), sendo responsáveis, respectivamente, por 30 e 32% das emissões totais de carbono.

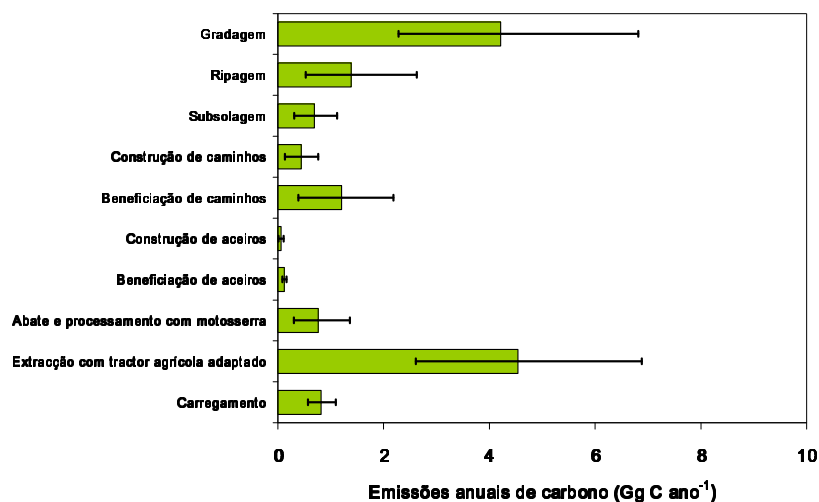


Figura 4.5 - Emissões de carbono das operações florestais realizadas no ano 2000 nos povoamentos de pinheiro bravo.

Em todas as fases, com excepção da fase de estabelecimento da rede viária e divisional, as emissões de carbono nos povoamentos de eucalipto são superiores às dos povoamentos de pinheiro bravo.

Na fase de preparação do terreno, este facto é justificável pela realização de uma operação adicional, a eliminação de cepos, que é responsável por cerca de 40% das emissões totais desta fase. Contudo, mesmo sem contabilizar esta operação adicional, e apesar de as áreas de ocupação dos eucaliptais serem inferiores, as emissões da preparação do terreno (associadas às operações de gradagem, ripagem e subsolagem) dos povoamentos de eucalipto seriam ligeiramente superiores às obtidas nos povoamentos de pinheiro bravo. Tal é devido à maior frequência com que as operações envolvidas são executadas nos povoamentos de eucalipto (uma vez em 30 anos no caso do eucalipto e uma vez em 45 anos no caso do pinheiro bravo).

Na fase de condução dos povoamentos as maiores emissões de carbono nos povoamentos de eucalipto devem-se essencialmente à maior frequência com que a operação de gradagem é realizada, quer por ser efectuada mais vezes em cada revolução, quer pela menor duração da revolução. A operação de selecção de varas, que apenas se aplica ao eucalipto, desempenha um papel pouco significativo nas emissões de carbono (apenas 5% das emissões totais da fase de condução dos povoamentos).

Na exploração florestal, as emissões de carbono dos povoamentos de eucalipto superam as dos povoamentos de pinheiro bravo, devido ao maior volume de madeira cortado e às maiores emissões específicas de carbono associadas ao corte e processamento da madeira.

No estabelecimento da rede viária e divisional, as emissões de carbono são maiores nos povoamentos de pinheiro bravo porque, por um lado, as novas áreas ocupadas no ano 2000, que afectam as emissões da abertura de caminho e aceiros, são maiores e, por outro lado, as áreas totais de ocupação, que influenciam as emissões da beneficiação de caminho e aceiros, são também maiores. Neste caso, a frequência de execução das operações de beneficiação de caminho e aceiros são semelhantes nos povoamentos de pinheiro bravo e de eucalipto.

De acordo com a análise da incerteza efectuada, a amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% associado às emissões totais de carbono no ano 2000 é de 53% (incerteza de -24% e +29%), tanto para o eucalipto como para o pinheiro bravo. A Figura 4.6 apresenta a contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) interveniente nos cálculos para esta incerteza. Os tempos de trabalho associados à realização das operações florestais constituem a principal fonte de incerteza, contribuindo com cerca de 35% para a incerteza total em ambos os povoamentos. É de destacar ainda as contribuições da duração da revolução (que é responsável por 19 e 22% da incerteza total estimada para os povoamentos de pinheiro bravo e de eucalipto, respectivamente) e do consumo horário de combustível (que é responsável por 18% da incerteza total em ambos os povoamentos).

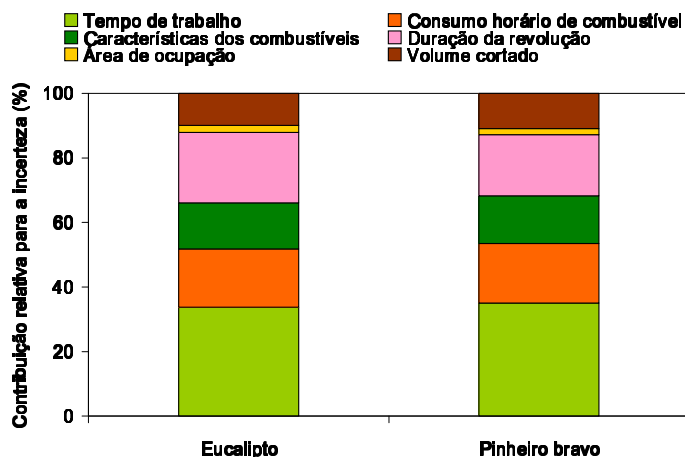


Figura 4.6 - Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza total associada às emissões anuais de carbono das operações florestais realizadas no ano 2000 nos povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo.

4.3.3. Análise de sensibilidade

4.3.3.1. Instalação dos povoamentos de pinheiro bravo

Se no ano 2000 os povoamentos de pinheiro bravo tivessem sido instalados por regeneração natural, as emissões totais de carbono seriam de 12 Gg C ano⁻¹, ou seja, cerca de 20% inferiores às do modelo de gestão considerado no cenário de referência, no qual a instalação é efectuada por plantação (Figura 4.7). Tal diferença nas emissões entre os dois tipos de gestão resulta, essencialmente, da inexistência de operações associadas à preparação do terreno quando é aproveitada a regeneração natural, compensando positivamente as emissões associadas à operação adicional de limpeza do povoamento com motosserra.

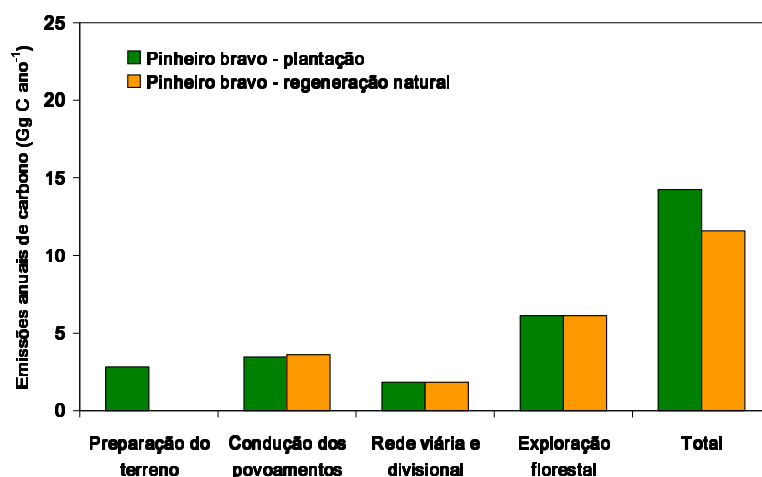


Figura 4.7 - Emissões anuais de carbono das operações florestais em povoamentos de pinheiro bravo: plantação vs. regeneração natural.

4.3.3.2. Controlo da vegetação espontânea

A substituição da gradagem por corta-matos no controlo da vegetação espontânea, traduz-se numa redução das emissões totais de carbono pouco significativa, da ordem dos 3% para os povoamentos de eucalipto e dos 4% para os povoamentos de pinheiro bravo (Figura 4.8).

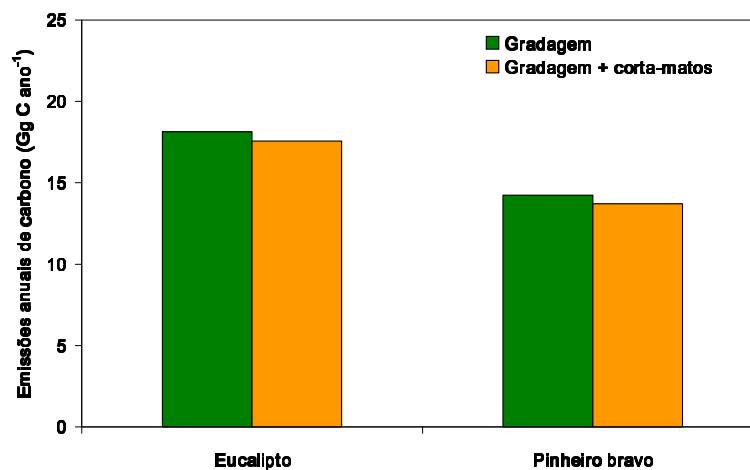


Figura 4.8 - Emissões anuais de carbono das operações florestais em povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo quando sujeitos a diferentes modos de controlo da vegetação espontânea: gradagem vs. gradagem e corta-matos.

4.3.3.3. Mobilização do solo

Se a mobilização do solo fosse efectuada por armação do terreno em vala e câmore, em alternativa ao sistema mais intensivo considerado no modelo de gestão do cenário de referência, constituído por ripagem seguida de subsolagem, as emissões totais de carbono diminuiriam cerca de 10%, passando para 16 Gg C ano⁻¹ nos povoamentos de eucalipto, e para 13 Gg C ano⁻¹ nos povoamentos de pinheiro bravo (Figura 4.9).

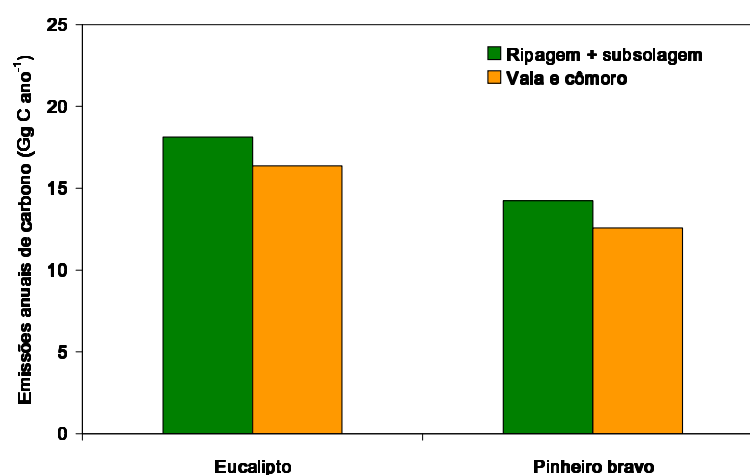


Figura 4.9 - Emissões anuais de carbono das operações florestais em povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo quando sujeitos a diferentes modos de mobilização do solo: ripagem e subsolagem vs. vala e câmore.

4.3.3.4. Exploração florestal

A Figura 4.10 mostra como as emissões de carbono do abate e processamento da madeira aumentam à medida que aumenta o nível de utilização do processador em substituição da motosserra na execução daquelas operações. Se no ano 2000, o processador tivesse sido usado para 100% da madeira, as emissões seriam cerca de 4 vezes superiores, tanto nos povoamentos de eucalipto como nos de pinheiro bravo. Pelo contrário, se em vez do tractor agrícola adaptado tivesse sido usado um tractor transportador na extracção de 100% da madeira, as emissões desta operação seriam reduzidas em quase 25% em ambos os povoamentos (Figura 4.11).

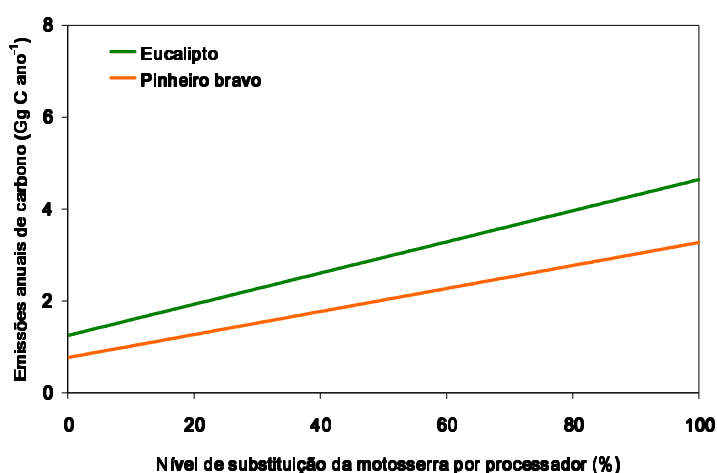


Figura 4.10 - Efeito da substituição da motosserra por processador nas emissões anuais de carbono do abate e processamento de madeira.

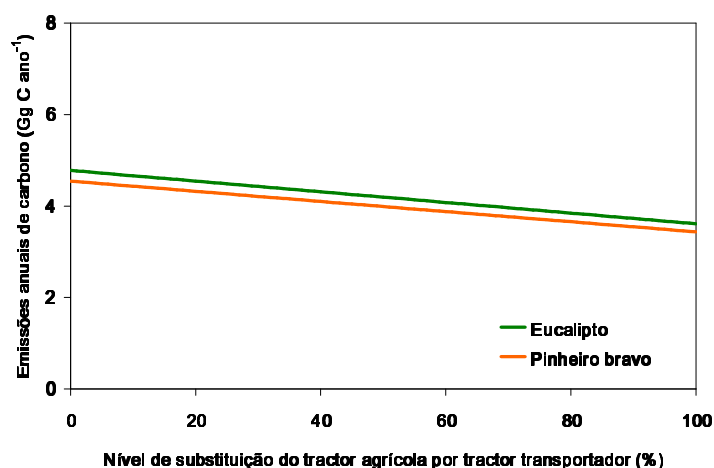


Figura 4.11 - Efeito da substituição do tractor agrícola por tractor transportador nas emissões anuais de carbono da extracção de madeira.

As emissões totais de carbono no ano 2000 poderiam diminuir 6 e 8%, respectivamente, nos povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo, se em alternativa aos equipamentos definidos no modelo de gestão do cenário de referência (motosserra e tractor agrícola adaptado) fossem usados motosserra e tractor transportador para cortar e extrair 100% da madeira (Figura 4.12). Por outro lado, as emissões poderiam aumentar, no máximo, 19 e 18%, respectivamente, para os povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo, se fossem empregues o processador e o tractor agrícola adaptado.

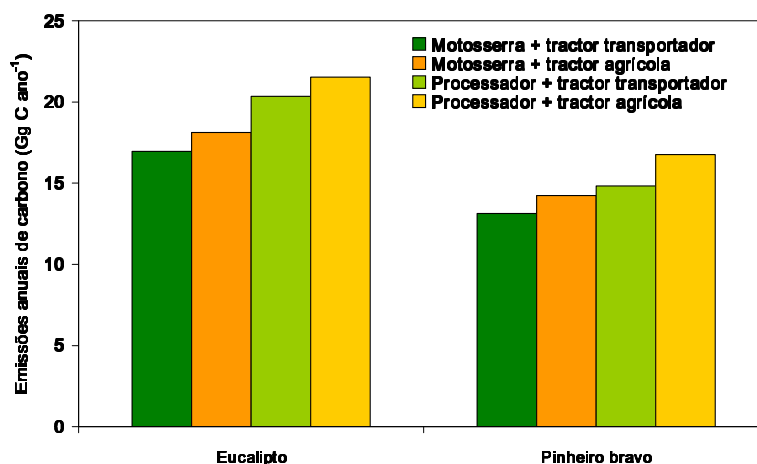


Figura 4.12 - Emissões anuais de carbono das operações florestais em povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo quando sujeitos a diferentes modos de exploração florestal: motosserra e tractor transportador vs. motosserra e tractor agrícola adaptado vs. processador e tractor transportador vs. processador e tractor agrícola adaptado.

4.4. Discussão

Neste capítulo foi proposta e aplicada uma metodologia para determinar as emissões anuais de carbono de origem fóssil resultantes das operações de gestão das florestas de eucalipto e de pinheiro bravo. Esta metodologia é baseada na contabilização dos tempos de trabalho necessários para executar as diferentes operações, nos respectivos consumos horários de combustíveis e nos factores de emissão de carbono específicos de cada combustível.

Para ultrapassar a carência de informação estatística acerca das áreas anuais sujeitas a cada operação, ou das proporções de madeira cortada e extraída pelas várias operações possíveis, foram definidos modelos de gestão para os povoamentos em análise, onde foi estabelecido o tipo de operações executadas e a frequência com que ocorrem durante uma revolução. Contudo, o recurso a estes modelos pode originar distorções no cálculo das emissões de carbono, pelo facto

de serem baseados em regras de boas práticas de gestão dos povoamentos e pressuporem um nível de mecanização das operações muito elevado. Em relação ao primeiro aspecto, é de notar que nem toda a floresta é gerida segundo as regras de boas práticas, principalmente a floresta de pinheiro bravo, pelo que nem sempre são efectuadas todas as operações estipuladas nos modelos. Quanto ao segundo aspecto, salienta-se que a mecanização das operações nem sempre é praticável, nomeadamente em terrenos muito declivosos ou pedregosos, onde as operações têm de ser executadas manualmente.

A metodologia sugerida para estimar das emissões anuais de carbono das fases de preparação do terreno, condução de povoamentos e operações de beneficiação de caminhos e aceiros, pode motivar desvios relativamente às emissões reais, que serão tanto maiores quanto mais a floresta analisada se afastar de uma “floresta normal”, em que existem áreas iguais em cada classe de idade (para a floresta de eucalipto, acresce ainda que, para cada classe de idade, deverá existir uma repartição equitativa das áreas por cada rotação).

Na prática, é pouco provável a existência de uma floresta deste tipo, na totalidade da floresta de um país. Com efeito, segundo os dados da 3ª Revisão do Inventário Florestal Nacional (DGF, 2001), da área total em que o pinheiro bravo é dominante, 35% é ocupada por povoamentos de idade irregular, 9% por povoamentos com idade até aos 10 anos, 11% por povoamentos entre os 10 e os 20 anos, 6% por povoamentos entre os 20 e os 30 anos, 8% por povoamentos entre os 30 e os 40 anos, 12% por povoamentos entre os 40 e os 50 anos, 8% por povoamentos entre os 50 e os 60 anos e 11% por povoamentos com mais de 60 anos. Para o eucalipto, e de acordo com a mesma fonte, da área total em que é dominante, 22% é ocupada por povoamentos com idade até aos 4 anos, 37% por povoamentos entre os 4 e os 8 anos, 20% por povoamentos entre os 8 e os 12 anos, 4% por povoamentos com mais de 12 anos e 17% por povoamentos de idade irregular.

Apesar de as florestas de eucalipto e de pinheiro bravo não se comportarem como “florestas normais”, a eventual disparidade entre as emissões anuais de carbono estimadas e as reais pode não ser muito importante pelo facto de, na prática, existir alguma flexibilidade na sequência cronológica das várias operações.

As emissões totais de carbono das operações florestais realizadas no ano 2000 atingiram os 18 Gg C ano⁻¹ nos povoamentos de eucalipto e os 14 Gg C ano⁻¹ nos povoamentos de pinheiro bravo, o que, expresso por volume de madeira removida no ano 2000, corresponde a 3,3 e 2,7 kg C m⁻³, respectivamente. Em ambos os casos, a fase de exploração florestal, apresentou a maior contribuição para as emissões totais de carbono, sendo de 1,3 kg C m⁻³ para os povoamentos de eucalipto e de 1,2 kg C m⁻³ para os povoamentos de pinheiro bravo. Estas emissões totais de carbono, expressas por m³ de madeira, diferem apreciavelmente das emissões estimadas por outros autores, embora as emissões de carbono da exploração florestal sejam da mesma ordem

de grandeza. Assim, os resultados publicados por Berg e Karjalainen (2003) indicam que as emissões totais de carbono, na Finlândia e na Suécia, no início dos anos 90, respeitantes às operações florestais executadas durante as mesmas fases consideradas neste estudo, foram de apenas 1,1 kg C m⁻³ e 1,4 kg C m⁻³, respectivamente, sendo a exploração florestal responsável por, respectivamente, 81% (0,9 kg C m⁻³) e 96% (1,3 kg C m⁻³) dessas emissões. Noutro estudo realizado para a Suécia, considerando o meio da década de 90, as emissões totais de carbono dessas mesmas fases mantiveram-se no mesmo nível, mas a contribuição da exploração florestal diminuiu para pouco mais de 75%, sendo de aproximadamente 1,0 C m⁻³ (Berg e Lindholm, 2005). No estudo realizado por Schwaiger e Zimmer (2001), abrangendo 12 países europeus, e que incidiu apenas sobre a fase de exploração florestal, as emissões de carbono variaram entre 0,8 kg C m⁻³, na Grécia, e 1,2 kg C m⁻³, na Irlanda.

Várias explicações plausíveis podem ser identificadas para a maior contribuição das fases de preparação do terreno, condução dos povoamentos e estabelecimento da rede viária e divisional da floresta de eucalipto e de pinheiro bravo em Portugal face à floresta nórdica. Uma primeira explicação está relacionada com o facto de, na floresta nórdica, o controlo da vegetação espontânea ser limitado apenas à fase de preparação do terreno, em oposição ao que sucede na floresta de eucalipto e de pinheiro bravo, em Portugal, em que esta operação é repetida várias vezes ao longo de uma revolução, contribuindo com 26% das emissões totais de carbono. Por outro lado, as emissões específicas de carbono da mobilização do solo nos povoamentos de eucalipto e pinheiro bravo para preparação do terreno (ripagem e subsolagem) são quase o dobro e o triplo das emissões estimadas, respectivamente, para a Finlândia e a Suécia (Berg e Karjalainen, 2003), apesar destas últimas incluírem a operação de drenagem do terreno, que em Portugal é desnecessária. Para além disso, a metodologia usada por Berg e Karjalainen (2003) é diferente da usada no presente estudo, na medida em que as áreas submetidas a cada operação são conhecidas. Assim, por exemplo, apenas 0,3% da área total de floresta na Finlândia é sujeita às operações de preparação do terreno, que representam cerca de 45% das emissões totais de carbono sem a exploração florestal. Na Suécia, a área sujeita a essas operações, que constituem cerca de 97% das emissões totais de carbono sem a exploração florestal, é de apenas 0,5% da área total. No caso do eucalipto e do pinheiro bravo, as áreas submetidas às operações de preparação do terreno equivalem respectivamente a 3,3 e 2,2% das suas áreas de ocupação total.

Os cenários testados na análise de sensibilidade demonstram que, mesmo mantendo uma gestão florestal de acordo com as regras de boas práticas e um nível de mecanização elevado, existe algum potencial para reduzir as emissões de carbono associadas às operações florestais. Assim, é possível atingir um decréscimo nas emissões de carbono de cerca de 20%, tanto na floresta de eucalipto como na floresta de pinheiro bravo, se as seguintes condições forem satisfeitas em simultâneo: a gradagem for substituída por corta-matos quando se pretende apenas eliminar a vegetação espontânea, a mobilização do solo altamente intensiva através de ripagem seguida de

subsolagem for substituída por uma mobilização mais ligeira, como a armação em vala e câmore, e os tractores agrícolas usados na extracção da madeira forem substituídos por tractores transportadores. Nos povoamentos de pinheiro bravo o decréscimo nas emissões de carbono pode ser alargado até aos 30% se, adicionalmente, for aproveitada a regeneração natural.

De acordo com o método de Monte Carlo, as emissões totais de carbono estão afectadas de incerteza da ordem dos -24 a +29%. O parâmetro que mais contribui para esta incerteza é o tempo de trabalho necessário para a execução das diversas operações, já que a incerteza que lhe está associada é, de um modo geral, superior à incerteza dos restantes parâmetros intervenientes nos cálculos. De facto, na realização de uma determinada operação, usando um dado equipamento, podem encontrar-se variações consideráveis nos tempos de trabalho, na medida em que estes dependem de vários factores, designadamente, da eficiência do operador, das características da espécie, das características da estação e de outros factores específicos de cada operação (por exemplo, do porte da vegetação espontânea na operação de controlo da vegetação espontânea, ou da distância a percorrer na operação de extracção).

4.5. Conclusões

As principais conclusões a reter do trabalho desenvolvido no âmbito do presente capítulo são:

- no ano 2000, as emissões totais de carbono de origem fóssil da floresta de eucalipto (18 Gg C ano⁻¹) excederam as da floresta de pinheiro bravo (14 Gg C ano⁻¹) em cerca de 29%, embora ocupando uma área cerca de 30% menor e produzindo apenas mais 5% de madeira, o que reflecte o carácter mais intensivo das actividades de gestão dos eucaliptais;
- as operações mais significativas para as emissões totais anuais de carbono foram a gradagem (contribuindo para 30% das emissões, tanto para o eucalipto como para o pinheiro bravo) e a extracção da madeira (contribuindo para 26 e 32% das emissões, respectivamente, para o eucalipto e para o pinheiro bravo);
- a exploração florestal contribuiu para 38 e 43% das emissões totais anuais de carbono, respectivamente para o eucalipto e para o pinheiro bravo, sendo a fase mais significativa em termos de emissões de carbono;
- as emissões totais de carbono nos povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo podem sofrer uma redução de cerca de 20% se, em simultâneo, forem utilizados corta-matos em vez de gradagens no controlo da vegetação espontânea, o solo for mobilizado com recurso à armação em vala e câmore em vez da mobilização por ripagem seguida de subsolagem, e na extracção de madeira forem usados tractores transportadores em vez de tractores agrícolas. Se nos povoamentos de pinheiro bravo for ainda usada a regeneração natural em

vez da instalação dos povoamentos por plantação, a redução nas emissões de carbono pode atingir os 30%;

- a amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% associado às emissões totais anuais de carbono é de 53%, sendo influenciada principalmente pela incerteza associada ao tempo de trabalho necessário para a execução das diversas operações e, em menor escala, pela incerteza associada à duração das revoluções e ao consumo horário de combustível.

Capítulo 5

Emissões de gases com efeito de estufa no processamento industrial da madeira de eucalipto e de pinheiro bravo

5.1. Introdução

5.1.1. A indústria de transformação da madeira em Portugal

A indústria de transformação da madeira em Portugal inclui a indústria de pasta e papel e a indústria dos produtos de madeira sólida.

Actualmente, o sector industrial da pasta e papel integra sete unidades fabris de produção de pasta, três das quais possuem uma capacidade produtiva superior a 250000 toneladas por ano, e cerca de quarenta unidades fabris de produção de papel, na sua maioria com uma capacidade de produção inferior a 10000 toneladas por ano, sendo de salientar que três unidades fabris produzem cerca de 75% do papel (Celpa, 2001; Celpa, 2004).

No ano 2000, cerca de 85% da madeira consumida no fabrico de pasta era de eucalipto, sendo a restante de pinheiro bravo. Nesse ano, cerca de 8 e 19% da madeira de eucalipto e de pinheiro bravo, respectivamente, foi importada. Do total de pasta produzida no ano 2000, 78% era de eucalipto ao sulfato branqueada, 13% de pinho ao sulfato crua, 5% de eucalipto ao sulfito

branqueada e 4% de eucalipto ao sulfato crua. Nesse mesmo ano, 31% da pasta de eucalipto ao sulfato branqueada foi produzida de forma integrada com a produção de papel de impressão e escrita e 50% da pasta de eucalipto ao sulfato crua e 70% da pasta de pinho ao sulfato crua foram produzidas de forma integrada com a produção de *kraftliner*¹.

A estrutura produtiva da indústria de papel no ano 2000 foi a seguinte: 54% de papel de impressão e escrita, 19% de *kraftliner*, 12% de outros papéis usados no fabrico de cartão canelado, 9% de papéis e cartões para embalagens, 5% de papéis de uso doméstico e sanitário e 1% de outros papéis e cartões para usos especiais (Celpa, 2001).

O sector industrial dos produtos de madeira sólida engloba, nas indústrias designadas de primeira transformação, as actividades de produção de madeira serrada e de painéis. Os painéis produzidos em Portugal incluem folhas, contraplacados, painéis de partículas, painéis de fibras de média densidade (*medium density fibreboard* - MDF) e painéis de fibras duros (as definições dos produtos são apresentadas no Anexo D). As indústrias de segunda transformação incluem a carpintaria, o fabrico de embalagens e o fabrico de mobiliário. Este sector é bastante heterogéneo, caracterizando-se pela existência de diferenças acentuadas ao nível das produtividades e das tecnologias das várias empresas, sendo composto por mais de 6000 empresas que, com excepção das do sub-sector do fabrico de painéis, são predominantemente de pequena e média dimensão.

A madeira de pinheiro bravo, quase exclusivamente de origem nacional, é a principal matéria-prima da indústria da serração, tendo representado, no ano 2000, cerca de 75% do volume de madeira consumido por esta indústria (Associação das Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal (AIMMP), comunicação pessoal).

O pinheiro bravo é também a matéria-prima mais representativa da indústria dos painéis de partículas e de fibras, quer em rolaria quer como sub-produto da indústria da serração e das indústrias de segunda transformação. No fabrico destes painéis é de registar ainda o consumo de madeira de eucalipto e de outras folhosas nacionais. As madeiras tropicais são a principal matéria-prima no fabrico de folhas, tendo representado mais de 70% da madeira consumida no ano 2000 (AIMMP, comunicação pessoal). Por seu lado, no fabrico de contraplacados, cerca de 55% da madeira consumida no ano 2000 foi de eucalipto (AIMMP, comunicação pessoal).

¹ Papel usado no fabrico de cartão canelado.

5.1.2.As fontes de emissão de GEEs na indústria de transformação da madeira

Tal como foi referido no ponto 2.4.1 do Capítulo 2, as principais emissões de GEEs no processamento industrial da madeira são:

- as emissões de CO₂ de origem renovável, ou seja, as que resultam da queima ou decomposição da madeira e casca consumidas, e dos materiais obtidos a partir delas;
- as emissões de CO₂ de origem fóssil, ou seja, as que decorrem da queima de combustíveis fósseis;
- as emissões de CH₄ resultantes da decomposição anaeróbia dos resíduos sólidos depositados em aterro.

No sector industrial da pasta e papel, as emissões de CO₂ de origem renovável resultam tipicamente da queima de casca, serradura e licor de cozimento da madeira, para produção de energia. Para além disso, as emissões de CO₂ de origem renovável resultam também da decomposição dos vários resíduos orgânicos e dos efluentes líquidos produzidos no processo.

Na indústria da serração, carpintaria, embalagem, mobiliário, produção de folhas e contraplacados, as emissões de CO₂ de origem renovável estão associadas à queima (para produção de energia) dos resíduos de madeira gerados no descasque e nas sucessivas operações de corte a que a madeira é sujeita, nomeadamente, casca, serradura, costaneiras, estilhas e aparas. As emissões podem ainda resultar da decomposição dos resíduos de madeira e dos efluentes líquidos produzidos.

No fabrico de painéis de partículas e de fibras, as emissões de CO₂ de origem renovável têm origem na queima (para produção de energia) de casca e de outros materiais gerados no descasque da madeira, na preparação das estilhas e no corte e lixagem dos painéis, podendo ainda ter origem na decomposição dos resíduos de madeira e dos efluentes líquidos produzidos no processo.

As emissões de CO₂ de origem fóssil no processamento industrial da madeira incluem as associadas à queima de combustíveis fósseis para produção de energia e para outros usos, designadamente para os transportes dentro dos perímetros fabris e para o forno de cal nas fábricas de pasta ao sulfato.

5.1.3. Metodologias de quantificação das emissões de GEEs na indústria de transformação da madeira

5.1.3.1. Emissões de CO₂ decorrentes da queima

Um dos métodos que permite quantificar as emissões de CO₂ associadas à queima de combustíveis renováveis ou fósseis consiste na utilização de factores de emissão, específicos para cada combustível, que têm por base o seu teor de carbono. Este método é o recomendado pelo IPCC para elaboração dos inventários nacionais de emissões de GEEs realizados no âmbito da CQNUAC (IPCC, 1997b; IPCC, 1997c; IPCC, 2000a) e tem sido bastante aplicado na indústria dos produtos florestais (Buchanan e Levine, 1999; Subak e Craighill, 1999; Martin *et al.*, 2000; Ruth *et al.*, 2000; Georgia-Pacific Corporation, 2002; Möllersten, 2002; NCASI, 2002; Pingoud e Lehtilä, 2002).

Outro método para determinar as emissões de CO₂ decorrentes da queima de combustíveis renováveis ou fósseis consiste em efectuar medições directas nas chaminés. Este método foi aplicado por Dias *et al.* (2002) para caracterizar as emissões associadas à produção de pasta de eucalipto e de papel de impressão e escrita produzidos em Portugal, no âmbito de um estudo de Análise de Ciclo de Vida. Contudo, quando ocorre a queima conjunta de combustíveis renováveis e fósseis, este método não permite efectuar a distinção entre emissões de CO₂ com origem renovável e fóssil, sendo esta uma situação comum na indústria dos produtos florestais, quer em caldeiras de biomassa, quer no forno de cal das fábricas de pasta ao sulfato. O forno de cal integra o sistema de recuperação de químicos, produzindo cal (CaO) a partir da queima de lamas de cal (CaCO₃) com a consequente libertação de CO₂ para a atmosfera. Este CO₂ é de origem renovável pois o carbono presente no CaCO₃ queimado tem origem na madeira (Sligh, 1999; Miner e Upton, 2002). No forno de cal são também queimados combustíveis fósseis, geralmente fuelóleo ou gás natural, para assegurar a temperatura à qual ocorre a calcinação.

Côté *et al.* (2002) utilizaram um método alternativo para determinar as emissões associadas à queima de licor negro (licor de cozimento da madeira) numa fábrica de pasta ao sulfato. Assim, estas emissões foram obtidas pela diferença entre o carbono contido na madeira consumida no digestor e o carbono contido na pasta crua e nos co-produtos (terebentina e *tall oil*) produzidos. Estas emissões incluem as emissões associadas à queima do licor negro na caldeira de recuperação e as emissões emitidas no forno de cal pela queima de CaCO₃. Este método foi preferido, em detrimento do método baseado em factores de emissão, porque aos caudais de licor negro queimado e ao seu teor de carbono estão normalmente associadas grandes incertezas.

5.1.3.2. Emissões de CO₂ e CH₄ decorrentes da decomposição de efluentes e de resíduos

As emissões de CO₂ resultantes da decomposição dos efluentes são normalmente calculadas a partir do seu teor de carbono e consideradas imediatas (Harmon *et al.*, 1996; Côté *et al.*, 2002). É de salientar, no entanto, que quando o tratamento de efluentes é do tipo anaeróbio parte do carbono do efluente é emitido sob a forma de CH₄.

Esta abordagem tem também sido aplicada para estimar as emissões de CO₂ associadas à decomposição aeróbia dos resíduos sólidos (Winjum *et al.*, 1998; Apps *et al.*, 1999). Uma abordagem alternativa, aplicável quando a decomposição dos resíduos ocorre no solo, com ou sem compostagem prévia, consiste em considerar que uma parte do carbono presente nos resíduos não se decompõe (USEPA, 2002).

Os métodos que permitem determinar as emissões de carbono, na forma de CO₂ e de CH₄, libertadas na decomposição anaeróbia dos resíduos sólidos em aterro são vários, podendo ser agrupados em duas categorias: métodos baseados em medições directas do biogás produzido e métodos baseados em modelos matemáticos.

Existem várias técnicas para medir directamente o biogás, nomeadamente o uso de câmaras fechadas para amostrar uma parte da superfície do aterro (Bogner *et al.*, 1999; Schuetz *et al.*, 2003), a obtenção de perfis verticais de concentração de CH₄ no aterro (Bogner *et al.*, 1993), a utilização de traçadores, normalmente SF₆, que fornecem perfis de concentração dos gases à superfície do aterro (Czepiel *et al.*, 1996) e a utilização de métodos micrometeorológicos nos quais são medidos os fluxos turbulentos de gases, da superfície do solo para a baixa atmosfera (Oonk e Boom, 2000). Quando o aterro dispõe de um sistema de recolha de biogás, a quantidade de biogás produzida pode ser estimada com base na quantidade recolhida e na eficiência da recolha (NCASI, 2002).

Os métodos baseados em modelos matemáticos também podem ser de vários tipos. O método mais simples, desenvolvido por Bingemer e Crutzen (1987) e adoptado pelo IPCC como método *default* para quantificar as emissões de CH₄ associadas à deposição de resíduos em aterro, no âmbito dos inventários nacionais de emissões de GEEs (IPCC, 1997b; IPCC, 1997c; IPCC, 2000a), considera que uma parte do carbono total presente nos resíduos não sofre decomposição enquanto a restante parte é emitida para a atmosfera no ano da deposição dos resíduos. O carbono emitido como CH₄ é obtido a partir da sua representatividade no biogás, da quantidade de biogás que é queimado e da quantidade de CH₄ que se oxida nas camadas superiores do aterro e no material de cobertura. Este método fornece uma boa estimativa das emissões para um

determinado ano, desde que a quantidade e composição dos resíduos se tenha mantido constante nos anos anteriores.

Outros modelos mais complexos reconhecem que o biogás é emitido ao longo de vários anos. Assim, o modelo de decomposição de primeira ordem considera que a decomposição dos resíduos decorre de forma exponencial ao longo do tempo. Este modelo é proposto pelo IPCC como método de segundo nível para determinar as emissões de CH₄ associadas à deposição de resíduos em aterro (IPCC, 1997b; IPCC, 1997c; IPCC, 2000a). Existem ainda modelos de decomposição de segunda ordem, que têm em conta os processos químicos e microbiológicos associados à formação de biogás (Swarbrick *et al.*, 1995; Young, 1995).

5.1.4. Objectivo

O objectivo deste capítulo consiste na determinação das emissões de CO₂ e de CH₄ associadas ao processamento da madeira nacional de eucalipto e de pinheiro bravo em Portugal. Por uma questão de consistência com os restantes capítulos desta tese, as emissões são expressas em massa de carbono. Para além disso, visando facilitar a comparação das emissões associadas aos diferentes produtos produzidos, foram consideradas as emissões específicas de carbono, expressas relativamente à massa de carbono contida em cada produto.

5.2. Metodologia

As emissões específicas de carbono contabilizadas no presente capítulo dizem respeito às emissões associadas à produção de produtos semi-processados fabricados nas indústrias de primeira transformação, nomeadamente, papel, madeira serrada e painéis, e são representativas do nível tecnológico e produtivo existente no ano 2000.

As emissões de carbono associadas à produção de papel e de painéis são apresentadas de forma agregada para a totalidade do papel e dos painéis produzidos, para manter a confidencialidade dos dados fornecidos pela indústria e que serviram de base ao seu cálculo.

As emissões foram calculadas separadamente para os produtos produzidos a partir de eucalipto e de pinheiro bravo, mas utilizando uma metodologia comum. Assim, nos pontos 5.2.1 e 5.2.2 é apresentada a metodologia empregue no cálculo das emissões de carbono de origem renovável e fóssil, enquanto no ponto 5.2.3 é descrita a metodologia da análise de incerteza efectuada.

5.2.1. Emissões de carbono de origem renovável

5.2.1.1. Produção de papel

As emissões específicas de carbono de origem renovável associadas à produção de papel foram calculadas a partir das emissões anuais de carbono de origem renovável associadas à produção de pasta e papel e aos fluxos de produção e consumo de pasta e ao fluxo de produção de papel (Equação 5.1).

$$EER_{\text{papel}} = EAR_{\text{pasta}} / \text{PROD}_{\text{pasta}} \times \text{CONS}_{\text{pasta}} / \text{PROD}_{\text{papel}} + EAR_{\text{papel}} / \text{PROD}_{\text{papel}} \quad \text{Equação 5.1}$$

onde,

EER_{papel} = emissões específicas de carbono de origem renovável associadas ao papel produzido a partir de eucalipto e de pinheiro bravo (Gg C por Gg C presente no papel produzido);

EAR_{pasta} = emissões anuais de carbono de origem renovável associadas ao processo de produção de pasta a partir de eucalipto e de pinheiro bravo (Gg C ano⁻¹);

$\text{PROD}_{\text{pasta}}$ = produção de pasta de eucalipto e de pinheiro bravo (Gg C ano⁻¹);

$\text{CONS}_{\text{pasta}}$ = consumo de pasta de eucalipto e de pinheiro bravo (Gg C ano⁻¹);

$\text{PROD}_{\text{papel}}$ = produção de papel a partir de eucalipto e de pinheiro bravo (Gg C ano⁻¹);

EAR_{papel} = emissões anuais de carbono de origem renovável associadas ao processo de produção de papel a partir de eucalipto e de pinheiro bravo (Gg C ano⁻¹).

As emissões anuais de carbono de origem renovável associadas ao processo de produção de pasta (EAR_{pasta}) incluem as emissões associadas à queima dos materiais usados para produção de energia e ainda as emissões associadas à decomposição dos co-produtos formados na produção de pasta de pinho (*tall oil* e terebentina), dos resíduos sólidos e dos efluentes líquidos. No processo de produção de papel, as emissões anuais de carbono de origem renovável (EAR_{papel}) resultam apenas das duas últimas fontes atrás referidas.

As emissões totais decorrentes da queima foram determinadas através de balanços mássicos realizados para cada uma das fábricas de pasta existentes em Portugal, sendo iguais à diferença entre o fluxo de carbono associado à biomassa (madeira e casca) consumida e o fluxo de carbono associado à pasta, aos co-produtos, aos resíduos sólidos (casca, serradura, rejeitos da crivagem, *dregs*, lamas do tratamento de efluentes, cinzas e escórias) e efluentes líquidos, produzidos a partir dessa biomassa. Estas emissões de carbono foram ainda desagregadas por fonte:

- emissões da queima de casca e serradura, calculadas pela diferença entre a quantidade de carbono presente nestes materiais (obtida a partir das quantidades queimadas e da fracção

de carbono que contêm) e a quantidade de carbono orgânico nas cinzas e escórias da caldeira onde são queimadas conjuntamente;

- emissões da queima do licor de cozimento, calculadas pela diferença entre as emissões totais da queima de materiais e as emissões da queima de casca e serradura; na produção de pasta ao sulfato, estas emissões incluem as da caldeira de recuperação e as associadas à queima de CaCO_3 no forno de cal.

Os fluxos dos diferentes materiais envolvidos nos balanços mássicos foram fornecidos pelas fábricas e os valores utilizados para os teores de carbono e as respectivas fontes são apresentados na Tabela 5.1. Para seguir apenas os fluxos de carbono associados à madeira de eucalipto e de pinheiro bravo de origem nacional, foi assumido que as madeiras nacionais e importadas originam as mesmas quantidades de pasta, co-produtos, resíduos sólidos e efluentes líquidos por unidade de madeira consumida.

Tabela 5.1 - Valores da fracção de carbono na matéria seca dos materiais considerados na indústria de pasta e papel.

Material	Fracção de carbono na matéria seca	Fonte
Madeira em bruto	0,50	IPCC (1997b) e IPCC (2003)
Pasta	0,40	Valor estimado a partir da sua composição química (Rydholm, 1965; Sjöström, 1981)
Papel de impressão e escrita	0,30-0,32	Indústria
<i>Kraftliner</i>	0,39	Indústria
<i>Tall oil</i>	0,77	Valor estimado a partir da sua composição química (Rydholm, 1965; Drew e Propst, 1981; Sjöström, 1981; Gullichsen e Fogelholm, 1999)
Terebentina	0,88	Valor estimado a partir da sua composição química (Drew <i>et al.</i> , 1971)
Casca e serradura	0,50	IPCC (1997b) e IPCC (2003)
Rejeitos da crivagem	0,40	Igual à pasta
<i>Dregs</i>	0-0,21	Indústria
Lamas do tratamento de efluentes	0,24-0,48	Indústria
Cinzas e escórias	0-0,41	Indústria
Efluente líquido tratado	150-1035 (*)	Indústria

(*) As unidades são g C m⁻³ de efluente

No cálculo das emissões de carbono associadas à decomposição dos efluentes líquidos gerados nos processos de produção de pasta e de papel foi considerado que o carbono que contêm é imediatamente emitido para a atmosfera.

Relativamente aos resíduos sólidos da produção de pasta e de papel, foi considerado que 40% são depositados em aterros sanitários (Celpa, 2004), onde a decomposição decorre em condições

anaeróbias, sem queima de biogás, e que apenas 55% do carbono presente nos resíduos é libertado para a atmosfera (IPCC, 2000a). Foi ainda considerado que metade do carbono presente no biogás é libertado na forma de CH₄ (IPCC, 1997b; IPCC, 2000a). Além disso, foi assumido que as emissões de carbono ocorrem no mesmo ano da deposição dos resíduos. A falta de informação sobre os fluxos e a composição dos resíduos em anos anteriores impediu a aplicação de um modelo de decomposição de primeira ordem.

O CH₄ possui um PAG de 23 kg CO₂ kg⁻¹ para um horizonte temporal de 100 anos (IPCC, 2001a), o que significa que 1 kg de carbono emitido na forma de CH₄ equivale a 8,36 kg de carbono emitidos na forma de CO₂².

Para os restantes resíduos sólidos da produção de pasta e de papel, cujos principais destinos são a aplicação em solos agrícolas e florestais e a queima, foi considerado que o carbono que contém é imediatamente emitido para a atmosfera.

Os teores de carbono (Tabela 5.1) e os fluxos associados aos efluentes líquidos e aos resíduos sólidos (lamas do tratamento de efluentes) da produção de papel integrada com a produção de pasta foram fornecidos pelas fábricas, enquanto que para a produção de papel a partir de pasta de mercado virgem e de fibra reciclada, os fluxos de carbono associados a estes materiais foram contabilizados considerando que cerca de 2 e 5%, respectivamente, das fibras presentes na pasta e no papel recuperado consumidos são perdidos no processo (European Commission, 2001).

Neste estudo foi considerado que o carbono presente nos co-produtos da produção de pasta de pinho constitui uma emissão imediata para a atmosfera, tal como foi assumido por Côté *et al.* (2002).

O fluxo de carbono na pasta consumida (CONS_{pasta}) foi obtido com base na quantidade de pasta que é integrada directamente na produção de papel e na quantidade de pasta de mercado consumida no país (6% da pasta de eucalipto ao sulfato branqueada, 13% da pasta de eucalipto ao sulfito branqueada e 58% da pasta de pinho ao sulfato crua (Celpa, 2001)).

Por seu lado, o fluxo de carbono no papel produzido a partir de eucalipto e de pinheiro bravo (PROD_{papel}) inclui o papel produzido de forma integrada, o papel produzido a partir de pasta de mercado virgem e o papel produzido a partir de fibra reciclada. Relativamente ao primeiro, que consiste em papel de impressão e escrita e papel *kraftliner*, no caso do eucalipto, e em papel

² A emissão de 1 kg de carbono na forma de CH₄ representa 16/12 kg de CH₄ e na forma de CO₂ representa 44/12 kg de CO₂. Por outro lado, atendendo ao PAG do CH₄, 1 kg de CH₄ equivale a 23 kg CO₂. Deste modo, 1 kg de carbono emitido na forma de CH₄ corresponde a $23 \times (16/12) / (44/12)$ kg de carbono emitidos na forma de CO₂.

kraftliner, no caso do pinheiro bravo, foi obtido com base nas produções e nos teores de carbono do papel (Tabela 5.1), fornecidos pelas unidades fabris onde são produzidos. No caso das fábricas de papel de impressão e escrita que, para além de pasta de eucalipto, consomem também pasta de fibra longa importada, foi considerado que a pasta de eucalipto e a pasta importada originam as mesmas quantidades de papel (e resíduos sólidos e efluentes líquidos, necessários ao cálculo das emissões de carbono) por unidade de pasta consumida. O papel produzido a partir de pasta de mercado virgem foi estimado considerando que, tal como referido, ocorrem 2% de perdas de fibras no processo e que a pasta de eucalipto ao sulfito branqueada é usada na produção de papéis sanitários e de uso doméstico (50%) e de papéis de usos especiais (50%), a pasta de eucalipto ao sulfato branqueada é usada na produção de papel de impressão e escrita (6%), de papéis sanitários e de uso doméstico (50%), de papel de embalagem (35%) e de papéis de usos especiais (9%), enquanto a pasta de pinho ao sulfato crua é usada na produção de papel de saco (informação fornecida pelas fábricas). O papel produzido a partir de fibra reciclada foi quantificado considerando que as perdas de fibra no processo são da ordem dos 5% e as seguintes taxas de reciclagem e alocação do papel recuperado por linhas de produção de papel (estabelecidas com base em informação fornecida pelas fábricas e pela Celpa (Celpa, 2001)):

- 25% do papel de impressão e escrita é reciclado, sendo integrado na produção de papel de impressão e escrita (9%), papéis sanitários e de uso doméstico (52%) e papel de embalagem (39%);
- 60% dos papéis de embalagem são reciclados, sendo incorporados na produção de papéis de embalagem.

5.2.1.2. Produção de madeira serrada

As emissões específicas de carbono de origem renovável associadas à produção de madeira serrada incluem as emissões com origem nos resíduos gerados no processo de fabrico, que são habitualmente queimados ou usados para camas de animais (AIMMP, comunicação pessoal), tendo sido considerado que as emissões ocorrem no ano da produção dos resíduos. Estas emissões foram estimadas separadamente para os resíduos de casca e para os restantes resíduos agregados. As emissões associadas ao primeiro tipo de resíduos foram obtidas a partir da quantidade de casca que entra com a madeira (primeiro termo da Equação 5.2), enquanto que as associadas ao segundo tipo de resíduos foram calculadas com base no valor típico do consumo específico de madeira na produção de madeira serrada e no valor típico da fracção total de desperdícios gerados na produção de madeira serrada que efectivamente constituem resíduos (sendo os restantes usados na produção de pasta e de painéis de partículas e de fibras) (segundo termo da Equação 5.2).

$$EER_{ms} = CE_{ms} \times \frac{MV_m}{MV_{ms}} \times \frac{C_m}{C_{ms}} \times \frac{FC_m}{(1 - FC_m)} \times FMC_{ms} + \left(CE_{ms} \times \frac{MV_m}{MV_{ms}} \times \frac{C_m}{C_{ms}} - 1 \right) \times FR_{ms}$$

Equação 5.2

onde,

EER_{ms} = emissões específicas de carbono de origem renovável associadas à madeira serrada produzida a partir de eucalipto e de pinheiro bravo (Gg C por Gg C presente na madeira serrada produzida);

CE_{ms} = consumo específico de madeira na produção de madeira serrada (m^3 madeira m^{-3} madeira serrada);

MV_m = massa volúmica da madeira (Mg seco m^{-3});

MV_{ms} = massa volúmica da madeira serrada (Mg seco m^{-3});

C_m = fracção de carbono presente na madeira seca;

C_{ms} = fracção de carbono presente na madeira serrada seca;

FC_m = fracção mássica de casca na madeira (expressa em relação ao tronco);

FMC_{ms} = fracção de madeira consumida com casca na produção de madeira serrada;

FR_{ms} = fracção de desperdícios gerados na produção de madeira serrada que são efectivamente resíduos.

A Tabela 5.2 sintetiza os valores dos parâmetros de entrada usados no cálculo das emissões específicas de carbono de origem renovável associadas à madeira serrada.

Tabela 5.2 - Valores dos parâmetros de entrada usados no cálculo das emissões específicas de carbono de origem renovável associadas à madeira serrada.

Parâmetro	Eucalipto		Pinheiro bravo	
	Valor (*)	Fonte	Valor (*)	Fonte
CE_{ms}	2,5	AIMMP (2002)	2,5	AIMMP (2002)
MV_m	0,55	Melo e Pastor (1982a), Goes (1991), Valente <i>et al.</i> (1992) e Jorge (1999)	0,45	Melo e Pastor (1982a) e Fonseca (1989)
MV_{ms}	0,55	Igual à madeira em bruto	0,45	Igual à madeira em bruto
C_m	0,5	IPCC (1997b) e IPCC (2003)	0,5	IPCC (1997b) e IPCC (2003)
C_{ms}	0,5	IPCC (2003)	0,5	IPCC (2003)
FC_m	0,125	Goes (1991) e Pereira (1994)	0,10	DGF (1991)
FMC_{ms}	1	Estimado a partir de informação fornecida pela AIMMP	1	Estimado a partir de informação fornecida pela AIMMP
FR_{ms}	0,4	Estimado a partir de informação fornecida pela AIMMP	0,4	Estimado a partir de informação fornecida pela AIMMP

(*) Os valores encontram-se expressos nas unidades referidas na definição de cada parâmetro.

5.2.1.3. Produção de painéis

O cálculo das emissões específicas de carbono de origem renovável associadas à produção de cada tipo de painel foi efectuado de modo semelhante ao seguido para a madeira serrada (Equação 5.3), partindo do princípio que o carbono contido nos resíduos gerados nos respectivos processos de produção (cujo destino é tipicamente a queima, mas também o fabrico de adubos) é totalmente emitido para a atmosfera no ano da sua produção.

$$EER_{p_i} = CE_{p_i} \times \frac{MV_m}{MV_{p_i}} \times \frac{C_m}{C_{p_i}} \times \frac{FC_m}{(1-FC_m)} \times FMC_{p_i} \times FMT_{p_i} + \left(CE_{p_i} \times \frac{MV_m}{MV_{p_i}} \times \frac{C_m}{C_{p_i}} - 1 \right) \times FR_{p_i}$$

Equação 5.3

onde,

EER_{p_i} = emissões específicas de carbono de origem renovável associadas ao painel i produzido a partir de eucalipto e de pinheiro bravo (Gg C por Gg C presente no painel produzido);

CE_{p_i} = consumo específico de madeira na produção do painel i (m^3 madeira m^{-3} painel);

MV_m = massa volúmica da madeira (Mg seco m^{-3});

MV_{p_i} = massa volúmica do painel i (Mg seco m^{-3});

C_m = fracção de carbono presente na madeira seca;

C_{p_i} = fracção de carbono presente no painel i seco;

FC_m = fracção mássica de casca na madeira em toros (expressa em relação ao tronco);

FMC_{p_i} = fracção de madeira em toros consumida com casca na produção do painel i ;

FMT_{p_i} = fracção de madeira em toros no total de madeira consumida na produção do painel i ;

FR_{p_i} = fracção de desperdícios gerados na produção do painel i que são efectivamente resíduos;

i = folhas, contraplacados, painéis de partículas e painéis de fibras.

Os valores usados para MV_m , C_m e FC_m são os apresentados na Tabela 5.2, e os valores dos restantes parâmetros referidos na Equação 5.3 estão resumidos na Tabela 5.3. É importante referir que o processo de produção de contraplacados considerado inclui a produção integrada das folhas que os constituem, enquanto que o processo de produção de folhas considerado exclui as folhas usadas na produção de contraplacados, para evitar dupla contagem.

As emissões específicas de carbono de origem renovável associadas à totalidade dos painéis produzidos foram obtidas por aplicação da Equação 5.4.

$$EER_p = \frac{\sum (EER_{p_i} \times PROD_{p_i})}{\sum PROD_{p_i}}$$

Equação 5.4

onde,

EER_p = emissões específicas de carbono de origem renovável associadas à totalidade dos painéis produzidos a partir de eucalipto e de pinheiro bravo (Gg C por Gg C presente nos painéis produzidos);

$PROD_{pi}$ = produção do painel i produzido a partir de eucalipto e de pinheiro bravo (Gg C ano⁻¹).

A produção de cada tipo de painel foi estimada tendo em conta os consumos específicos de madeira e os consumos de madeira no ano 2000 associados a cada tipo de painel. Os valores usados para o consumo de madeira em toros foram fornecidos pela AIMMP e pela indústria de painéis, enquanto os valores relativos ao consumo de sub-produtos da produção de madeira serrada, de folhas e de contraplacados foram estimados com base em informação fornecida pelas mesmas fontes, considerando que estes materiais constituem 60% do total de desperdícios produzidos nos respectivos processos produtivos e que, do total de sub-produtos usados no fabrico de painéis, 70% são canalizados para a produção de painéis de partículas e 30% para a produção de painéis de fibras.

Tabela 5.3 - Valores dos parâmetros de entrada usados no cálculo das emissões específicas de carbono de origem renovável associadas aos painéis.

Parâmetro	Folhas ⁽¹⁾	Contraplacados ⁽¹⁾	Painéis de partículas ⁽¹⁾	Painéis de fibras ⁽¹⁾⁽²⁾	Fonte
CE_{pi}	eucalipto e pinheiro: 1,4	eucalipto e pinheiro: 1,6	eucalipto: 1,2; pinheiro: 1,4	eucalipto: 1,3; pinheiro: 1,6	Estimado a partir de informação fornecida pela AIMMP e pela indústria
MV_{pi}	eucalipto: 0,55; pinheiro: 0,45	eucalipto: 0,55; pinheiro: 0,45	0,63	0,73	Folhas e contraplacados: igual à madeira em bruto; outros: indústria
C_{pi}	0,50	0,44	0,44	0,40	Folhas: IPCC (2003); outros: indústria
FMC_{pi}	eucalipto: 0,30; pinheiro: 0,42	eucalipto: 0,30; pinheiro: 0,42	eucalipto: 0,30; pinheiro: 0,42	eucalipto: 0,30; pinheiro: 0,42	Estimado a partir de informação fornecida pela AIMMP e pela indústria
FMT_{pi}	1	1	eucalipto: 0,61; pinheiro: 0,60	eucalipto: 0,75; pinheiro: 0,72	Estimado a partir de informação fornecida pela AIMMP e pela indústria
FR_{pi}	0,4	0,4	1	1	Estimado a partir de informação fornecida pela AIMMP

(1) Os valores encontram-se expressos nas unidades referidas na definição de cada parâmetro.

(2) 86% dos painéis de fibras produzidos são MDF e 14% são duros.

5.2.2. Emissões de carbono de origem fóssil

As emissões de carbono de origem fóssil incluem as emissões associadas à queima de combustíveis fósseis dentro dos perímetros fabris (emissões próprias) e as associadas às trocas de energia eléctrica com a rede nacional.

As emissões próprias de carbono foram calculadas a partir do consumo de combustíveis utilizados para produção de energia e para outros usos (transportes internos, forno de cal nas fábricas de pasta, etc.) e dos factores de emissão associados a cada tipo de combustível, tendo por base o seu teor em carbono (Equação 5.5).

$$EF_i = CONS_i \times PCI_i \times FE_i \times FCO_i \times 10^{-3} \quad \text{Equação 5.5}$$

onde,

EF_i = emissões de carbono associadas ao combustível fóssil i (Gg C);

$CONS_i$ = consumo do combustível fóssil i (Gg);

PCI_i = poder calorífico inferior do combustível fóssil i (MJ kg⁻¹);

FE_i = factor de emissão de carbono associado ao combustível fóssil i (kg C GJ⁻¹);

FCO_i = fracção de carbono oxidado do combustível fóssil i ;

i = fuelóleo, gasóleo, gasolina, gás natural, propano.

Os valores para os poderes caloríficos inferiores, os factores de emissão de carbono e as fracções de carbono oxidado utilizados nos cálculos são os sugeridos pelo IPCC (IPCC, 1997b), excepto o poder calorífico inferior do gás natural que foi fornecido pela indústria (Tabela 5.4).

Tabela 5.4 - Valores do poder calorífico inferior, do factor de emissão de carbono e da fracção de carbono oxidado dos combustíveis fósseis consumidos na indústria dos produtos florestais.

Combustível	Poder calorífico inferior (MJ kg ⁻¹)	Factor de emissão de carbono (kg C GJ ⁻¹)	Fracção de carbono oxidado
Fuelóleo	40,19	21,1	0,99
Gasóleo	43,33	20,2	0,99
Gasolina	44,80	18,9	0,99
Gás natural	44,85	15,3	0,995
Propano	47,31	17,2	0,995

As emissões de carbono associadas às trocas de energia eléctrica com a rede foram calculadas considerando o factor de emissão de 143 g C kWh⁻¹ (39,9 kg C GJ⁻¹), para o ano 2000, definido em relação ao kWh distribuído à rede e produzido no Sistema Eléctrico Nacional, tendo sido

considerado que este carbono é essencialmente de origem fóssil (Martins *et al.*, 2001). Este factor de emissão foi aplicado à quantidade de energia trocada com a rede. Deste modo, quando ocorre exportação líquida de energia para a rede é considerado que a energia produzida na indústria “evita” a produção de igual quantidade de energia na rede nacional, sendo este tipo de procedimento comum noutros estudos (Subak e Craighill, 1999; Dias *et al.*, 2002; Hekkert *et al.*, 2002; NCASI, 2002).

As emissões específicas de carbono de origem fóssil associadas à produção de papel foram, tal como para as emissões específicas de carbono de origem renovável, calculadas a partir das emissões anuais de carbono de origem fóssil associadas à produção de pasta e de papel e aos fluxos de produção e de consumo de pasta e de produção de papel (ver Equação 5.1). Os consumos anuais de combustíveis nos processos de produção de pasta e nos processos de produção integrada de papel foram obtidos directamente junto de cada uma das fábricas, enquanto que para a produção de papel não integrada (a partir de fibra virgem e reciclada) foram estimados a partir dos consumos específicos de combustíveis associados à produção dos diferentes tipos de papel considerados, típicos das fábricas de papel associadas da Celpa (representam cerca de 90% da produção de papéis em Portugal).

No cálculo das emissões específicas de carbono de origem fóssil associadas à produção de madeira serrada foi considerado um valor típico para o consumo específico médio de energia eléctrica da rede de 0,6 kWh m⁻³ madeira serrada (AIMMP, 2002).

Por fim, as emissões específicas de carbono de origem fóssil resultantes da produção de cada tipo de painel foram determinadas a partir dos valores de consumos específicos de combustíveis e de trocas de energia eléctrica com a rede de algumas fábricas portuguesas. As emissões específicas de carbono de origem fóssil associadas à totalidade dos painéis produzidos foram obtidas do mesmo modo que as emissões de carbono de origem renovável (ver Equação 5.4).

5.2.3. Análise de incerteza

A incerteza associada às emissões específicas de carbono foi determinada pelo método de Monte Carlo, através do software @Risk (Palisade Corporation, 2004). Para o efeito, foram realizadas 1000 iterações e foi utilizada a amostragem *Latin Hypercube* (ver detalhes no Capítulo 3).

As FDPs usadas para definir a incerteza associada aos parâmetros de entrada dos cálculos foram do tipo normal e triangular. O primeiro tipo de FDP foi adoptado quando a incerteza em torno do valor usado para o parâmetro em causa (neste caso é o valor médio) é simétrica, sendo a incerteza expressa pelos limites inferior e superior do intervalo de confiança de 95% da FDP

(Equação 3.5). O segundo tipo de FDP foi usado nos restantes casos, sendo a incerteza definida de acordo com as Equações 3.7 e 3.8.

A contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza total associada às emissões específicas de carbono foi obtida do modo descrito pela Equação 3.9.

Na Tabela 5.5 são apresentados os valores de incerteza considerados para cada um dos parâmetros de entrada envolvidos no cálculo das emissões específicas de carbono de origem renovável associadas à produção de papel. Para a fracção de carbono nos vários materiais foi adoptado o valor de incerteza sugerido pelo IPCC para madeira e produtos florestais e neste estudo foi estendido aos restantes materiais (IPCC, 2003). Para a fracção de carbono presente nos resíduos que se decompõe em aterro foi admitida uma gama de variação entre 0,03 e 0,77 e entre 0,26 e 0,77, respectivamente para os resíduos com lenhina (casca, serradura, dregs, cinzas e escórias) e para os resíduos fibrosos (rejeitos da crivagem e lamas do tratamento de efluentes). Os limites inferiores destas gamas são sugeridos por Skog e Nicholson (1998) para madeira e papel, respectivamente, e o limite máximo é proposto nas *IPCC Guidelines* (IPCC, 1997b). Quanto à fracção de CH₄ presente no biogás resultante da decomposição dos resíduos em aterro, foi considerado que varia entre 0,4 e 0,6 (Micales e Skog, 1997; IPCC, 2000a). O valor de incerteza considerado para as perdas de fibra na produção de papel a partir de fibra virgem e reciclada foi estabelecido com base em valores típicos da indústria de papel (European Commission, 2001). Para os restantes parâmetros os níveis de incerteza foram estabelecidos com base em informação fornecida pela indústria.

Tabela 5.5 - Incerteza associada aos parâmetros de entrada usados no cálculo das emissões específicas de carbono de origem renovável associadas à produção de papel.

Parâmetro	Tipo de FDP	Incerteza (%)
Fluxos mássicos de materiais	Normal	± 5
Fracção de carbono nos materiais	Normal	± 10
Fracção de carbono, presente nos resíduos com lenhina, decomposta em aterro	Triangular	- 95 a + 40
Fracção de carbono, presente nos resíduos fibrosos, decomposta em aterro	Triangular	- 53 a + 40
Fracção de carbono no biogás emitido na forma de CH ₄	Normal	± 20
Perdas de fibra	Normal	± 50
Taxas de reciclagem do papel	Normal	± 10
Alocação do papel recuperado por linhas de produção de papel	Normal	± 10

A Tabela 5.6 resume os valores de incerteza associados aos parâmetros de entrada utilizados no cálculo das emissões específicas de carbono de origem renovável resultantes da produção de madeira serrada e de painéis. Para a massa volúmica da madeira de eucalipto e de pinheiro bravo

foram consideradas gamas de variação entre 0,47 e 0,65 Mg seco m⁻³ (Valente *et al.*, 1992) e entre 0,38 e 0,53 Mg seco m⁻³ (Fonseca, 1989; Castéra *et al.*, 1999), respectivamente. As mesmas gamas foram adoptadas para a madeira serrada, as folhas e os contraplacados, desprezando o aumento expectável na massa volúmica decorrente da retracção da madeira e, no caso dos contraplacados, o efeito da presença de outros materiais que não a madeira. Para a massa volúmica dos painéis de partículas e de fibras foi considerado o nível de incerteza sugerido pelo IPCC (IPCC, 2003), que está de acordo com as gamas de variação típicas da massa volúmica fornecidas pela indústria. Para a fracção de carbono na madeira e nos produtos florestais foi igualmente adoptada a incerteza sugerida pelo IPCC (IPCC, 2003). As gamas de variação consideradas para a fracção mássica de casca (expressa relativamente ao tronco) foram de 0,06 a 0,14 para o pinheiro bravo (valores fornecidos pela indústria) e de 0,07 a 0,18 para o eucalipto (Goes, 1991; Pereira, 1994). Para os restantes parâmetros os níveis de incerteza foram estabelecidos com base em informação fornecida pela indústria.

Tabela 5.6 - Incerteza associada aos parâmetros de entrada usados no cálculo das emissões específicas de carbono de origem renovável associadas à produção de madeira serrada e de painéis.

Parâmetro	Tipo de FDP	Incerteza (%)
Consumo específico de madeira na produção de madeira serrada	Normal	± 10
Consumo específico de madeira na produção de painéis	Normal	± 10
Massa volúmica da madeira de eucalipto	Triangular	- 15 a + 18
Massa volúmica da madeira de pinheiro bravo	Triangular	- 16 a + 18
Massa volúmica da madeira serrada de eucalipto	Triangular	- 15 a + 18
Massa volúmica da madeira serrada de pinheiro bravo	Triangular	- 16 a + 18
Massa volúmica das folhas de eucalipto	Triangular	- 15 a + 18
Massa volúmica das folhas de pinheiro bravo	Triangular	- 16 a + 18
Massa volúmica dos contraplacados de eucalipto	Triangular	- 15 a + 18
Massa volúmica dos contraplacados de pinheiro bravo	Triangular	- 16 a + 18
Massa volúmica dos painéis de partículas	Normal	± 15
Massa volúmica dos painéis de fibras	Normal	± 15
Fracção de carbono na madeira e nos produtos florestais	Normal	± 10
Fracção de casca na madeira de eucalipto	Normal	± 44
Fracção de casca na madeira de pinheiro	Normal	± 40
Fracção de madeira consumida com casca na produção de madeira serrada	Triangular	- 20 a 0
Fracção de madeira consumida com casca na produção de painéis	Normal	± 20
Fracção de desperdícios gerados na produção de madeira serrada, folhas e contraplacados que são efectivamente resíduos	Normal	± 15
Fracção de subprodutos da produção de madeira serrada, folhas e contraplacados usados na produção de painéis de partículas	Normal	± 15
Fracção de subprodutos da produção de madeira serrada, folhas e contraplacados usados na produção de painéis de fibras	Normal	± 15
Volume anual de madeira em toros consumido na produção de painéis	Normal	± 10

As incertezas adoptadas para os parâmetros usados no cálculo das emissões específicas de carbono de origem fóssil não incluídos nas Tabelas 5.5 e 5.6 são apresentadas na Tabela 5.7. Para o poder calorífico inferior e para o factor de emissão de carbono foi adoptado o valor de incerteza sugerido pelo IPCC (IPCC, 2000a), enquanto para a fracção de carbono oxidado foi considerada uma incerteza de, no máximo, $\pm 1\%$. Para os restantes parâmetros os níveis de incerteza foram estabelecidos com base em informação fornecida pela indústria.

Tabela 5.7 - Incerteza associada aos parâmetros de entrada usados no cálculo das emissões específicas de carbono de origem fóssil.

Parâmetro	Tipo de FDP	Incerteza (%)
Poder calorífico inferior	Normal	± 5
Factor de emissão de carbono	Normal	± 5
Fracção de carbono oxidado no fuelóleo, no gasóleo, na gasolina	Normal	± 1
Fracção de carbono oxidado no gás natural e no propano	Triangular	- 1 a +0,5
Consumos de combustíveis e trocas de energia eléctrica com a rede na produção de pasta e papel	Normal	± 5
Consumo específico de energia eléctrica na produção de madeira serrada	Normal	± 30
Consumos de combustíveis e trocas de energia eléctrica com a rede na produção de painéis	Normal	± 10

5.3. Resultados

Na Figura 5.1 são apresentados os resultados obtidos para as emissões específicas de carbono de origem renovável e fóssil associadas à produção de papel, madeira serrada e painéis. As emissões de origem renovável da produção de papel têm em conta o PAG do CH₄, sendo expressas em termos de equivalentes de carbono.

No processamento industrial da madeira de eucalipto e de pinheiro bravo, as emissões específicas de carbono de origem renovável são superiores às de origem fóssil, independentemente do produto produzido e do tipo de madeira consumido. Assim, na produção de papel, as emissões de origem renovável representam cerca de 65 e 80% das emissões totais, respectivamente para o papel produzido a partir de eucalipto e de pinheiro bravo. Por seu lado, na produção de madeira serrada, as emissões de origem renovável constituem a quase totalidade das emissões, enquanto que na produção de painéis este tipo de emissões representa cerca de 60 a 70% das emissões totais, respectivamente para os painéis produzidos a partir de pinheiro bravo e de eucalipto.

As emissões específicas de carbono de origem renovável e fóssil diferem consideravelmente consoante o produto e, em alguns casos, também consoante o tipo de madeira consumido. As emissões de origem renovável correlacionam-se positivamente com os consumos específicos de madeira, sendo maiores na produção de papel, seguindo-se a produção de madeira serrada e, por último, a produção de painéis. À produção de papel estão também associadas as maiores emissões de origem fóssil, enquanto que à produção de madeira serrada correspondem as menores.

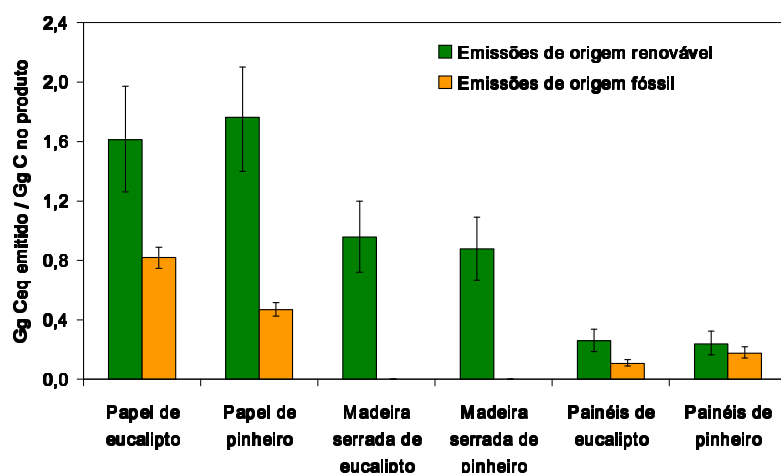


Figura 5.1 - Emissões específicas de carbono de origem renovável e fóssil associadas à produção de papel, madeira serrada e painéis a partir de madeira de eucalipto e de pinheiro bravo.

As emissões específicas de carbono de origem renovável do processo de produção de papel são superiores quando a matéria-prima é o pinheiro bravo (1,76 Gg C_{eq} por Gg C presente no papel produzido, face a 1,61 Gg C_{eq} por Gg C presente no papel produzido a partir de eucalipto), devido principalmente ao maior consumo específico de madeira que lhe está associado, que resulta numa maior produção de licor de cozimento, que constitui a principal fonte de emissões de carbono de origem renovável (Figura 5.2). Com efeito, as emissões associadas ao licor de cozimento representam cerca de 85% das emissões totais de origem renovável na produção de papel a partir de pinheiro bravo, face a uma contribuição de aproximadamente 75% na produção de papel a partir de eucalipto.

As emissões de carbono como CH₄, representam apenas 2 e 5% das emissões totais de origem renovável, respectivamente no papel produzido a partir de pinheiro bravo e de eucalipto.

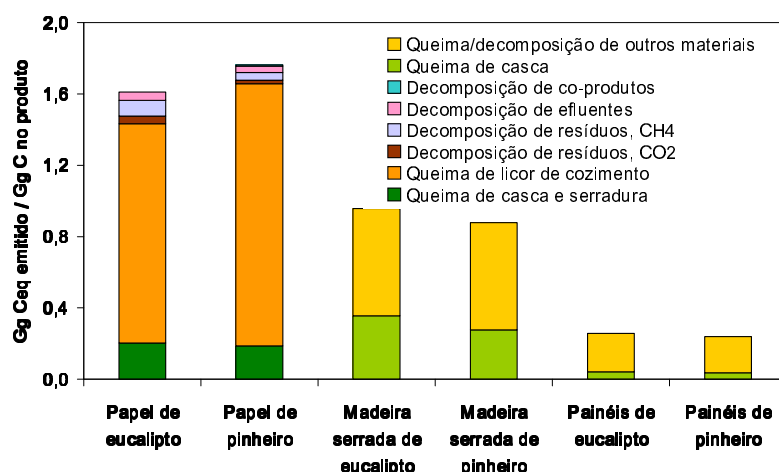


Figura 5.2 - Fontes das emissões específicas de carbono de origem renovável associadas à produção de papel, madeira serrada e painéis a partir de madeira de eucalipto e de pinheiro bravo.

Por seu lado, as emissões específicas de carbono de origem fóssil são superiores para o papel produzido a partir de eucalipto (0,82 Gg C por Gg C presente no papel produzido, face a 0,47 Gg C por Gg C presente no papel produzido a partir de pinheiro bravo). São vários os motivos que contribuem para esta tendência. Em primeiro lugar, a maior parte da pasta produzida a partir de eucalipto é branqueada, exigindo um maior consumo específico de energia que o requerido na produção de pasta de pinheiro bravo, que não é sujeita a branqueamento. Por outro lado, para compensar a menor produção de licor de cozimento e, consequentemente, de energia a partir de combustíveis renováveis, é necessário um consumo adicional de combustíveis fósseis no processo de produção de pasta a partir de eucalipto. Além disso, quase 80% dos papéis produzidos a partir de eucalipto são de impressão e escrita, cujo processo de produção é mais exigente em termos energéticos do que o processo de produção de papéis de embalagem, produzidos a partir de pinheiro bravo.

As emissões específicas de carbono de origem renovável decorrentes da produção de madeira serrada são maiores quando é usada madeira de eucalipto (0,96 Gg C por Gg C presente na madeira serrada produzida, face a 0,88 Gg C por Gg C presente na madeira serrada produzida a partir de pinheiro bravo), devido ao maior consumo de casca (Figura 5.2). As emissões específicas de carbono de origem fóssil associadas à produção de madeira serrada são insignificantes ($3,1 \times 10^{-4}$ Gg C por Gg C presente na madeira serrada produzida a partir de eucalipto e $3,8 \times 10^{-4}$ Gg C por Gg C presente na madeira serrada produzida a partir de pinheiro bravo), incluindo apenas as resultantes do consumo de energia eléctrica da rede, já que a produção de energia nas serrações ocorre apenas quando existem secadores de madeira e, nesse caso, são geralmente utilizados combustíveis renováveis. Contudo, estas emissões fósseis podem estar estimadas por defeito já que excluem eventuais emissões resultantes de transportes internos nas empresas.

As emissões específicas de carbono de origem renovável associadas à produção de painéis são ligeiramente superiores quando é usada madeira de eucalipto (0,26 Gg C por Gg C presente nos painéis produzidos, face a 0,24 Gg C por Gg C presente nos painéis produzidos a partir de pinheiro bravo), o que se deve, principalmente, ao facto de a partir do eucalipto ser produzida uma maior proporção relativa de contraplacados (que representam 13% do total de painéis produzidos a partir desta madeira, face a menos de 1% no caso do pinheiro bravo), que apresentam um maior consumo específico de madeira. Pelo contrário, as emissões específicas de carbono de origem fóssil associadas à produção de painéis são superiores no caso dos painéis produzidos a partir de pinheiro bravo (0,18 Gg C por Gg C presente nos painéis produzidos, face a 0,11 Gg C por Gg C presente nos painéis produzidos a partir de eucalipto), pelo facto desta madeira originar maiores percentagens de painéis de partículas e de fibras (63 e 36%, respectivamente), mais intensivos do ponto de vista energético, que a madeira de eucalipto (50 e 33%, respectivamente).

Na Figura 5.3 são apresentadas as emissões específicas de carbono de origem fóssil desagregadas por fonte, sendo evidente que na produção de papel a queima de fuelóleo é a principal causa destas emissões, contribuindo com 74 e 83% para as emissões fósseis totais, respectivamente, para o papel produzido a partir de eucalipto e de pinheiro bravo. A contribuição da energia eléctrica produzida na rede nacional é pouco significativa, sendo de 12 e 15%, respectivamente, para o papel produzido a partir de eucalipto e de pinheiro bravo. Em oposição, na produção de painéis a maior contribuição para as emissões fósseis é a da energia eléctrica adquirida à rede nacional (53 e 60% das emissões fósseis da produção de painéis a partir de eucalipto e pinheiro bravo, respectivamente). Contudo, é de salientar que o fuelóleo é o combustível que mais contribui para as emissões próprias da produção de painéis.

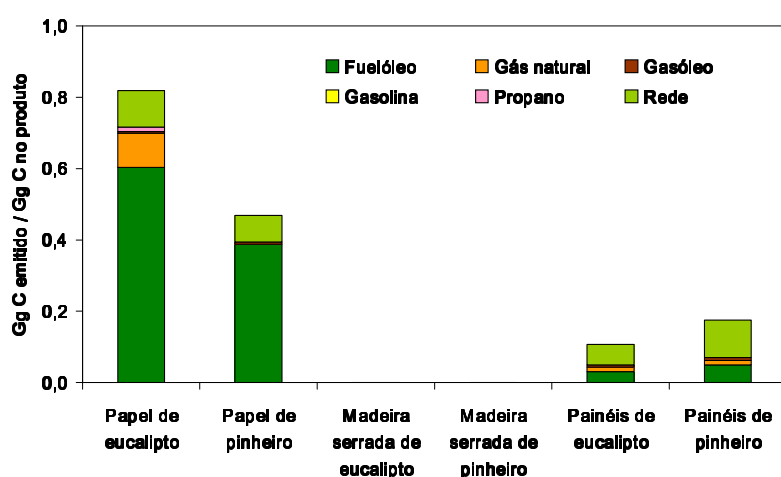


Figura 5.3 - Fontes das emissões específicas de carbono de origem fóssil associadas à produção de papel, madeira serrada e painéis a partir de madeira de eucalipto e de pinheiro bravo.

Os intervalos de confiança de 95% das FDPs associadas às emissões específicas de carbono, obtidas com o método de Monte Carlo, estão representados na Figura 5.1 pelas barras de erro. A amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% das emissões de origem fóssil é inferior à das emissões de origem renovável, excepto no caso das emissões da madeira serrada, em que os valores das emissões de origem fóssil são muito pequenos, resultando na maior amplitude do intervalo de confiança de 95% (da ordem dos 70%). Por outro lado, a amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% das emissões decorrentes da produção de papel são inferiores às associadas aos outros produtos, sendo de 17 e 20% no caso das emissões de origem fóssil e de 44 e 40% no caso das emissões de origem renovável, para o eucalipto e o pinheiro bravo, respectivamente.

A Figura 5.4 ilustra a contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) de entrada para a incerteza total associada às emissões específicas de carbono resultantes da produção de papel. Assim, a fracção de carbono presente nos materiais é o parâmetro que apresenta a maior contribuição para a incerteza total, tanto nas emissões de origem renovável como nas de origem fóssil, sendo particularmente importante no primeiro tipo de emissões, onde a sua contribuição atinge os 70%. No caso das emissões de origem fóssil, este parâmetro contribui com 33 e 38% para a incerteza total, respectivamente para o papel produzido a partir de pinheiro bravo e de eucalipto. Os fluxos mássicos dos vários materiais envolvidos nos cálculos apresentam contribuições para a incerteza total da ordem dos 20% nos dois tipos de emissões, enquanto que a dos restantes parâmetros é inferior a este valor.

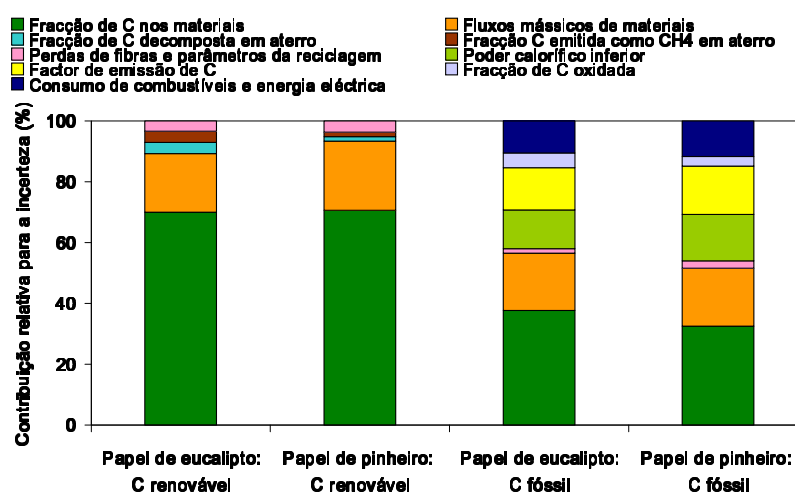


Figura 5.4 - Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza total associada às emissões específicas de carbono de origem renovável e fóssil resultantes da produção de papel a partir de madeira de eucalipto e de pinheiro bravo.

A contribuição relativa de cada parâmetro de entrada para a incerteza total associada às emissões específicas de carbono resultantes da produção de madeira serrada é apresentada na Figura 5.5. Para as emissões de origem renovável a principal fonte de incerteza é a massa volúmica da madeira em bruto e da madeira serrada, que contribui com cerca de 30% para a incerteza total. A fracção de carbono nestes materiais apresenta também uma contribuição importante para estas emissões, da ordem dos 23%. No que respeita às emissões de origem fóssil, é de destacar a contribuição do consumo específico de energia eléctrica, que é de cerca de 52%. A massa volúmica da madeira em bruto e da madeira serrada apresenta a segunda maior contribuição para estas emissões (22%).

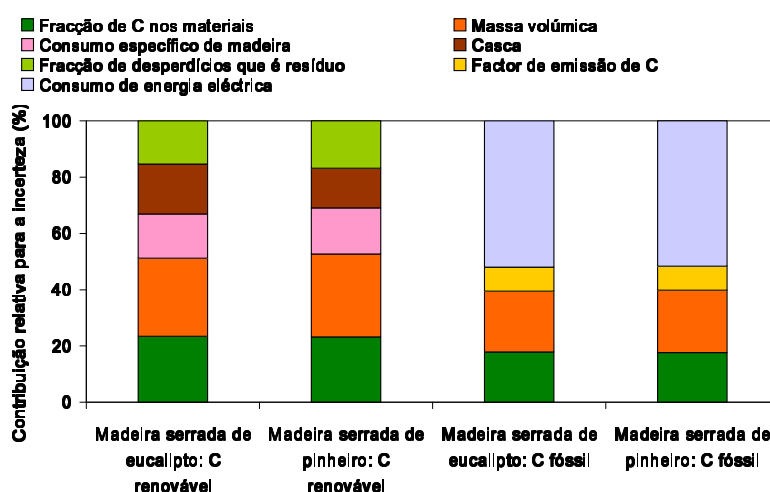


Figura 5.5 - Contribuição relativa de cada parâmetro para a incerteza total associada às emissões específicas de carbono de origem renovável e fóssil resultantes da produção de madeira serrada a partir de madeira de eucalipto e de pinheiro bravo.

A massa volúmica da madeira em bruto e dos painéis é o parâmetro que mais contribui para a incerteza total associada às emissões específicas de carbono inerentes à produção de painéis (Figura 5.6). Com efeito, este parâmetro é responsável por cerca de 42% da incerteza total associada às emissões de origem renovável e por cerca de 30% da incerteza total associada às emissões de origem fóssil. Também neste caso a fracção de carbono nos materiais apresenta uma contribuição significativa para a incerteza total, de cerca de 30 e 21%, respectivamente nas emissões de origem renovável e fóssil.

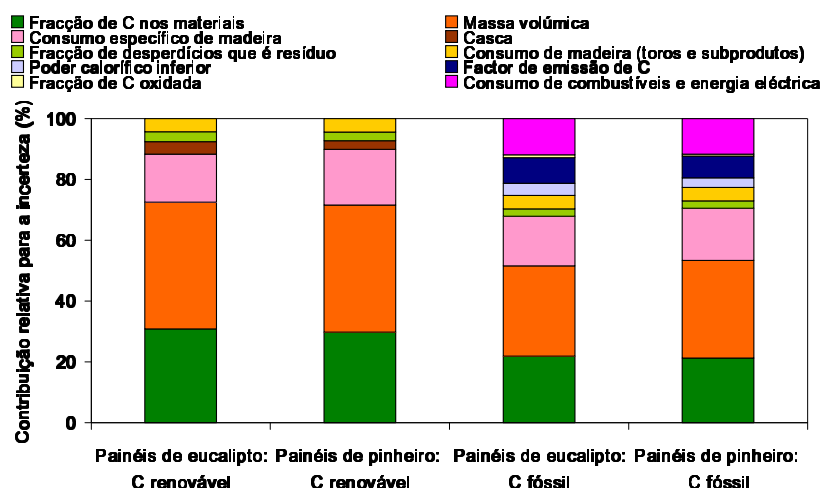


Figura 5.6 - Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza total associada às emissões específicas de carbono de origem renovável e fóssil resultantes da produção de painéis a partir de madeira de eucalipto e de pinheiro bravo.

5.4. Discussão

Neste capítulo foram determinadas as emissões específicas de carbono de origem renovável e fóssil associadas ao processamento da madeira nacional de eucalipto e de pinheiro bravo em Portugal, nomeadamente na produção de papel, madeira serrada e painéis.

De acordo com os resultados obtidos, representativos do nível tecnológico e produtivo do ano 2000, as emissões de origem renovável perfazem, no mínimo, 60% das emissões totais nos sectores industriais analisados. Esta importante contribuição já era esperada, na medida em que grande parte das emissões de carbono resulta de processos de combustão para produção de energia característicos deste tipo de indústria. É de salientar que cerca de 70% da energia total consumida pela indústria portuguesa de pasta e papel no ano 2000, e quase 55% da energia total consumida na indústria portuguesa dos produtos de madeira sólida no ano 2001, teve origem em combustíveis renováveis (AIMMP, 2002; Celpa, 2004).

As emissões específicas de carbono de origem fóssil obtidas para o papel produzido a partir de eucalipto (0,82 Gg C por Gg C presente no papel), do qual quase 80% é papel de impressão e escrita do tipo papel de fotocópia, são semelhantes às estimadas por Dias *et al.* (2002) para esse tipo de papel, produzido também em Portugal a partir de eucalipto (0,77 Gg C por Gg C presente

no papel³). As emissões específicas de carbono de origem fóssil determinadas por Hekkert *et al.* (2002) para o papel de fotocópia, representativas do nível tecnológico existente na Europa Ocidental (0,80 Gg C por Gg C presente no papel³), são também idênticas às obtidas no presente estudo.

Por outro lado, as emissões específicas de carbono de origem fóssil obtidas para o papel produzido a partir de pinheiro bravo (0,47 Gg C por Gg C presente no papel), constituído por papel de embalagem produzido a partir de pasta crua, são inferiores às calculadas por Côté *et al.* (2002) para papel de embalagem produzido a partir de pasta branqueada (0,62 Gg C por Gg C presente no papel), o que é expectável já que na operação de branqueamento há um consumo adicional de energia.

O valor determinado por Buscaglione *et al.* (1999) para a média das emissões específicas de carbono de origem fóssil associadas ao papel produzido na Europa no ano de 1997 (0,50 Gg C por Gg C presente no papel⁴) é ligeiramente superior ao valor obtido para o pinheiro bravo no presente estudo. Pelo contrário, os valores médios estimados por Pingoud e Lehtilä (2002) para o papel produzido na Finlândia a partir de pasta química (0,35 Gg C por Gg C presente no papel) e por Buchanan e Levine (1999) para o papel produzido mundialmente (0,30 Gg C por Gg C presente no papel⁴), são inferiores aos valores obtidos no presente estudo.

Relativamente às emissões específicas de carbono de origem fóssil obtidas para a madeira serrada ($3,1 \times 10^{-4}$ Gg C por Gg C presente na madeira serrada produzida a partir de eucalipto e $3,8 \times 10^{-4}$ Gg C por Gg C presente na madeira serrada produzida a partir de pinheiro bravo), estas são bastante inferiores às reportadas noutros estudos. Assim, Pingoud e Lehtilä (2002) indicam que o valor médio das emissões específicas de carbono de origem fóssil na Finlândia é de 0,07 Gg C por Gg C presente na madeira serrada, enquanto que Buchanan e Levine (1999) estimaram um valor inferior, de cerca de 0,04 Gg C por Gg C presente na madeira serrada⁵, para a madeira serrada produzida mundialmente. As diferenças verificadas entre os valores determinados por estes autores e os do presente estudo podem ser atribuídas à existência de diferentes níveis tecnológicos e/ou ao consumo de diferentes combustíveis. Assim, em Portugal, a produção de energia nas serrações só ocorre quando existem secadores de madeira e, nestes casos, são normalmente usados os resíduos gerados no fabrico da madeira serrada. No estudo realizado por Pingoud e Lehtilä (2002) apenas um quarto da energia consumida na produção de madeira serrada tem origem em biomassa.

³ Considerando um teor de carbono no papel de 30%, em base tal e qual.

⁴ Considerando um teor de carbono no papel de 36%, em base tal e qual (AF&PA *et al.*, 2000).

⁵ Considerando um teor de carbono de 50% e uma massa volúmica de $0,5 \text{ Mg seco m}^{-3}$.

Por fim, os valores obtidos para as emissões específicas de carbono de origem fóssil associadas aos painéis (0,11 Gg C por Gg C presente nos painéis produzidos a partir de eucalipto e 0,18 Gg C por Gg C presente nos painéis produzidos a partir de pinheiro bravo) são da mesma ordem de grandeza dos obtidos por Pingoud e Lehtilä (2002) para os painéis produzidos na Finlândia (0,14 Gg C por Gg C presente nos painéis de partículas, 0,15 Gg C por Gg C presente nos painéis de fibras e 0,16 Gg C por Gg C presente nos contraplacados). Contudo, os valores obtidos neste estudo são inferiores aos sugeridos por Buchanan e Levine (1999) para os painéis produzidos globalmente (0,34 Gg C por Gg C presente nas folhas e contraplacados⁵ e 0,39 Gg C por Gg C presente nos painéis de partículas e de fibras⁶).

Pelo facto de as emissões de carbono de origem renovável na indústria serem consideradas neutras do ponto de vista do aquecimento global (Seppälä *et al.*, 1998; Ruth *et al.*, 2000; Hekkert *et al.*, 2002; Möllersten, 2002; Tarnawski, 2004), são escassos os estudos publicados onde estas emissões sejam calculadas. No estudo realizado por Côté *et al.* (2002) para papel de embalagem produzido a partir de pasta branqueada, o valor obtido para este tipo de emissões (1,67 Gg C por Gg C presente no papel) está compreendido entre os valores calculados no presente estudo (1,54 e 1,72 Gg C por Gg C presente no papel).

5.5. Conclusões

As principais conclusões a reter do trabalho desenvolvido no âmbito do presente capítulo são:

- a magnitude das emissões específicas de carbono de origem renovável e fóssil variam, de um modo geral, em função do tipo de produto produzido, do tipo de madeira consumida, do nível tecnológico da indústria e do tipo de combustíveis utilizados;
- no ano 2000, as emissões de carbono de origem renovável variaram entre 0,24 Gg C por Gg C presente nos painéis produzidos a partir de pinheiro bravo e 1,76 Gg C_{eq} por Gg C presente no papel produzido a partir de pinheiro bravo, e as emissões de carbono de origem fóssil variaram entre $3,1 \times 10^{-4}$ Gg C por Gg C presente C na madeira serrada de eucalipto e 0,82 Gg C por Gg C presente no papel produzido a partir de eucalipto;
- as emissões específicas de carbono de origem fóssil constituem apenas 0,03 a 40% das emissões específicas totais libertadas no processamento industrial da madeira de eucalipto e de pinheiro bravo;

⁶ Considerando um teor de carbono de 42% e uma massa volúmica de 0,65 Mg seco m⁻³.

- o carbono emitido na forma de CH₄ na decomposição dos resíduos gerados na produção de papel apresenta uma pequena contribuição para as emissões totais de carbono;
- a amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% associado às emissões específicas de carbono de origem renovável e fóssil variou entre 17 e 70%, sendo que as emissões específicas de carbono associadas à produção de papel são as que apresentam menores níveis de incerteza, em grande parte pelo facto de os cálculos terem por base dados fornecidos por fábricas que representam a quase totalidade da indústria de pasta e papel em Portugal;
- a incerteza associada às emissões específicas de carbono da produção de papel é afectada principalmente pela incerteza na fracção de carbono nos materiais, enquanto no caso particular das emissões da produção de madeira serrada e painéis, a incerteza na massa volúmica destes produtos e da madeira em bruto é mais influente.

Capítulo 6

Balanço de carbono nos produtos florestais

6.1. Introdução

6.1.1. Estado da arte sobre as diferentes abordagens para a quantificação do balanço de carbono nos produtos florestais

As *IPCC Guidelines* (IPCC, 1997a; IPCC, 1997b; IPCC, 1997c), a metodologia que serve de base à realização dos inventários nacionais de emissões de GEEs elaborados no âmbito da CQNUAC, parte do princípio que os *stocks* de produtos florestais não têm vindo a aumentar de modo significativo na maioria dos países e, por esse motivo, consideram que o carbono contido na biomassa removida da floresta é totalmente emitido para a atmosfera no ano da remoção, ignorando assim a acumulação de carbono nos produtos florestais.

Contudo, esta metodologia deixa em aberto a possibilidade da inclusão da acumulação de carbono nos produtos florestais se os países conseguirem documentar um acréscimo nos *stocks* de produtos florestais. Neste caso, a metodologia refere que à variação dos *stocks* de carbono na floresta poderá ser adicionado um termo que contabilize o acréscimo no reservatório de produtos florestais, mas não fornece um procedimento para o seu cálculo. Para colmatar esta lacuna, numa reunião de peritos do IPCC, realizada em Maio de 1998 em Dakar, foram propostas três abordagens que definem o modo como as variações dos *stocks* ou as remoções (ou emissões) de

carbono associadas à floresta e aos produtos florestais são repartidas entre países produtores e consumidores de madeira e de produtos florestais (Brown *et al.*, 1999):

- a *stock-change approach*;
- a *production approach*;
- a *atmospheric-flow approach*.

A análise destas abordagens continua a ser objecto de discussão no seio da CQNUAC, com vista a seleccionar a abordagem a incluir futuramente nos inventários nacionais de GEEs (UNFCCC, 2003b; UNFCCC, 2004). Recentemente, a CQNUAC analisou os aspectos técnicos e os impactos sócio-económicos e ambientais associados a cada uma das abordagens (UNFCCC, 2003a) e o IPCC publicou o “*Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*” (GPG LULUCF) que propõe metodologias de cálculo aplicáveis às diferentes abordagens (IPCC, 2003).

As Figuras 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4 apresentam de forma esquemática a abordagem actual proposta nas *IPCC Guidelines*, habitualmente designada por *IPCC default approach* e as abordagens alternativas acima referenciadas.

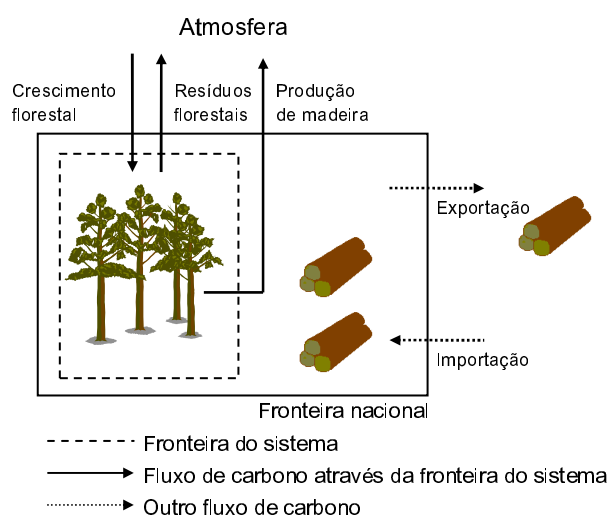


Figura 6.1 - *IPCC default approach* (adaptado de Brown *et al.* (1999)). Os fluxos de importação e exportação representados na figura incluem todos os materiais produzidos a partir de madeira (madeira em bruto, produtos florestais, resíduos, etc.).

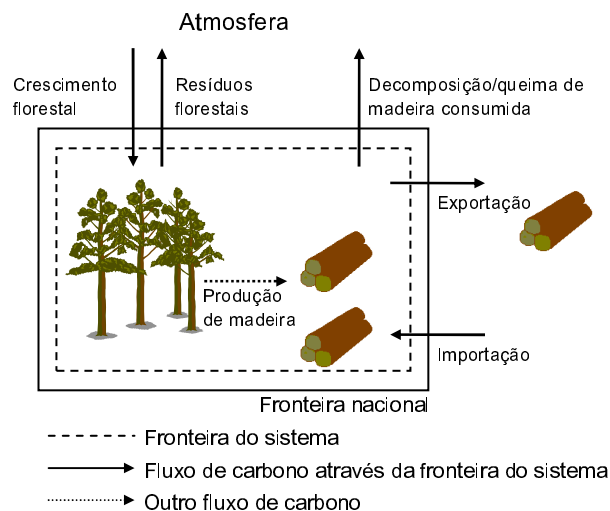


Figura 6.2 - *Stock-change approach* (adaptado de Brown *et al.* (1999)). Os fluxos de importação, exportação e decomposição/queima de madeira consumida representados na figura incluem todos os materiais produzidos a partir de madeira (madeira em bruto, produtos florestais, resíduos, etc.).

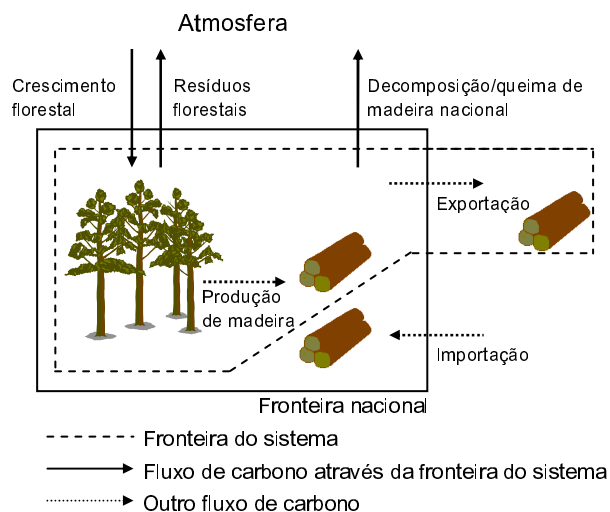


Figura 6.3 - *Production approach* (adaptado de Brown *et al.* (1999)). Os fluxos de importação, exportação e decomposição/queima de madeira nacional representados na figura incluem todos os materiais produzidos a partir de madeira (madeira em bruto, produtos florestais, resíduos, etc.).

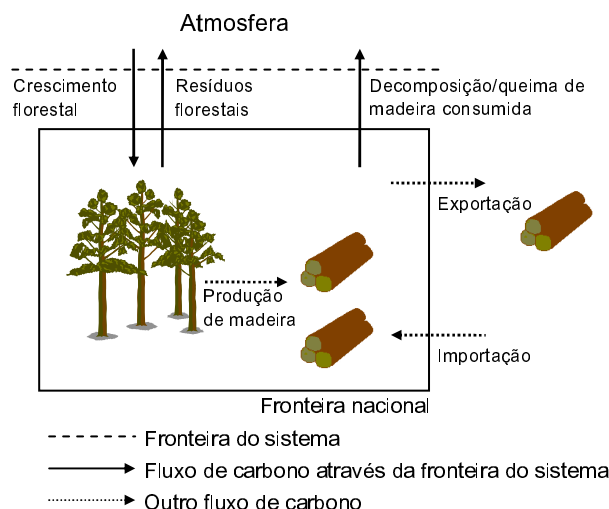


Figura 6.4 - *Atmospheric-flow approach* (adaptado de Brown *et al.* (1999)). Os fluxos de importação, exportação e decomposição/queima de madeira consumida representados na figura incluem todos os materiais produzidos a partir de madeira (madeira em bruto, produtos florestais, resíduos, etc.).

A *stock-change approach* considera as variações dos *stocks* de carbono na floresta e nos produtos florestais dentro das fronteiras nacionais. Assim, a variação dos *stocks* de carbono na floresta é contabilizada no país onde a madeira é produzida, enquanto que a variação dos *stocks* de carbono nos produtos florestais é atribuída ao país onde são consumidos.

A *production approach* também considera as variações dos *stocks* de carbono na floresta e nos produtos florestais mas, neste caso, são ambas atribuídas ao país produtor da madeira.

A *atmospheric-flow approach* considera os fluxos de carbono entre a atmosfera e o sector florestal dentro das fronteiras nacionais. Deste modo, a remoção de carbono resultante do crescimento da floresta é contabilizada no país produtor da madeira e as emissões de carbono resultantes da decomposição ou queima de materiais produzidos a partir de madeira (madeira em bruto, produtos florestais, resíduos, etc.) são contabilizadas no país onde são consumidos.

Na *stock-change approach* e na *atmospheric-flow approach* as variações dos *stocks* e as emissões de carbono, respectivamente, são contabilizadas no país onde ocorrem. Por seu lado, a *IPCC default approach* e a *production approach* consideram que as emissões e as variações dos *stocks* de carbono, respectivamente, são atribuídas ao país produtor da madeira que, no caso da madeira ser exportada, não é o país onde ocorrem.

Teoricamente, a *stock-change approach*, a *production approach* e a *atmospheric-flow approach* originam balanços de carbono semelhantes quando são aplicadas ao nível global, uma vez que em todas elas as emissões de carbono resultantes da decomposição ou queima dos materiais produzidos a partir de madeira são consideradas quando ocorrem (Pingoud *et al.*, 2003). Pelo contrário, a *IPCC default approach* considera que essas emissões ocorrem aquando do corte das árvores.

As *IPCC Guidelines* consideram que se a variação dos *stocks* de carbono na floresta é positiva, ocorre a remoção de carbono da atmosfera, e se a variação dos *stocks* for negativa, significa que há emissão de carbono para a atmosfera. Este conceito foi estendido à variação dos *stocks* de carbono nos produtos florestais no GPG LULUCF, e foi também adoptado no presente trabalho. Apesar desta convenção, importa sublinhar que, na realidade, os produtos florestais não podem ser entendidos como verdadeiros sumidouros de carbono (não existe nenhum fluxo de carbono directamente da atmosfera para os produtos florestais), mas sim como reservatórios que armazenam o carbono originalmente presente na madeira das árvores, retardando a sua emissão para a atmosfera.

Em todas as abordagens, a remoção de carbono pode ser expressa segundo duas perspectivas distintas, de variações de *stocks* e de fluxos (Brown *et al.*, 1999; Flugsrud *et al.*, 2001; Pingoud *et al.*, 2003), independentemente de, em termos conceptuais, a determinação da remoção de carbono ser baseada em variações de *stocks* (na *IPCC default approach*, na *stock-change approach* e na *production approach*) e em fluxos (na *atmospheric flow approach*). Na Tabela 6.1 é apresentado o modo como a remoção (ou emissão) de carbono associada à floresta e aos produtos florestais é definida em cada abordagem, de acordo com estas duas perspectivas. Estas definições põem em evidência que a remoção de carbono dada pela *atmospheric-flow approach* é igual à remoção de carbono dada pela *stock-change approach*, acrescida da exportação líquida de materiais produzidos a partir de madeira (expressa em massa de carbono).

Este capítulo incide particularmente sobre a remoção de carbono associada aos produtos florestais, a qual é adicional relativamente à estimada pela *IPCC default approach*. A sua definição para as várias abordagens, segundo as perspectivas das variações dos *stocks* e dos fluxos, consta da Tabela 6.2.

Tabela 6.1 - Definição da remoção de carbono associada à floresta e aos produtos florestais para as várias abordagens, segundo as perspectivas das variações dos stocks e dos fluxos (Brown *et al.*, 1999; Flugsrud *et al.*, 2001; Pingoud *et al.*, 2003).

Perspectiva	Abordagem	Modo como é expressa a remoção de carbono associada à floresta e aos produtos florestais
Variações dos stocks	<i>IPCC default approach</i>	Remoção = variação dos <i>stocks</i> na floresta
	<i>Stock-change approach</i>	Remoção = variação dos <i>stocks</i> na floresta + variação dos <i>stocks</i> nos produtos florestais consumidos
	<i>Production approach</i>	Remoção = variação dos <i>stocks</i> na floresta + variação dos <i>stocks</i> nos produtos florestais produzidos a partir de madeira nacional
	<i>Atmospheric-flow approach</i>	Remoção = variação dos <i>stocks</i> na floresta + variação dos <i>stocks</i> nos produtos florestais consumidos + exportação líquida de madeira
Fluxos	<i>IPCC default approach</i>	Remoção = crescimento florestal - resíduos florestais - produção de madeira em bruto
	<i>Stock-change approach</i>	Remoção = crescimento florestal - resíduos florestais - decomposição/queima de madeira consumida - exportação líquida de madeira
	<i>Production approach</i>	Remoção = crescimento florestal - resíduos florestais - decomposição/queima de madeira nacional
	<i>Atmospheric-flow approach</i>	Remoção = crescimento florestal - resíduos florestais - decomposição/queima de madeira consumida

Notas:

- todas as variações de *stocks* e todos os fluxos são expressos em massa de carbono por unidade de tempo;
- a exportação líquida de madeira e a decomposição/queima de madeira incluem todos os materiais produzidos a partir de madeira (madeira em bruto, produtos florestais, resíduos, etc.);
- a exportação líquida é a diferença entre a exportação e a importação.

Tabela 6.2 - Definição da remoção de carbono associada aos produtos florestais para as várias abordagens, segundo as perspectivas das variações dos stocks e dos fluxos (Pingoud *et al.*, 2003).

Perspectiva	Abordagem	Modo como é expressa a remoção de carbono associada aos produtos florestais
Variações dos stocks	<i>Stock-change approach</i>	Remoção = variação dos <i>stocks</i> nos produtos florestais consumidos
	<i>Production approach</i>	Remoção = variação dos <i>stocks</i> nos produtos florestais produzidos a partir de madeira nacional
	<i>Atmospheric-flow approach</i>	Remoção = variação dos <i>stocks</i> nos produtos florestais consumidos + exportação líquida de madeira
	<i>Stock-change approach</i>	Remoção = produção de madeira em bruto - decomposição/queima de madeira consumida - exportação líquida de madeira
Fluxos	<i>Production approach</i>	Remoção = produção de madeira em bruto - decomposição/queima de madeira nacional
	<i>Atmospheric-flow approach</i>	Remoção = produção de madeira em bruto - decomposição/queima de madeira consumida

Notas:

- todas as variações de *stocks* e todos os fluxos são expressos em massa de carbono por unidade de tempo;
- a exportação líquida de madeira e a decomposição/queima de madeira incluem todos os materiais produzidos a partir de madeira (madeira em bruto, produtos florestais, resíduos, etc.);
- a exportação líquida é a diferença entre a exportação e a importação.

6.1.2. Métodos de cálculo usados na aplicação das abordagens para a quantificação do balanço de carbono nos produtos florestais

6.1.2.1. Aplicabilidade dos métodos

Para cada uma das abordagens que permitem a determinação da remoção de carbono associada aos produtos florestais, podem ser aplicados diferentes métodos de cálculo, genericamente descritos no Capítulo 2. A escolha de um método em particular depende da disponibilidade e da qualidade dos dados necessários à sua aplicação e das características específicas do reservatório a que é aplicado (Flugsrud *et al.*, 2001).

No caso da *production approach*, apenas é exequível a utilização do método baseado nos tempos de vida dos produtos (Pingoud *et al.*, 2003). A utilização dos métodos de estimativa directa dos *stocks* e de estimativa directa das emissões é impraticável nesta abordagem, já que requerem a quantificação, respectivamente, dos *stocks* de todos os produtos produzidos a partir de madeira nacional e das emissões associadas à decomposição ou queima de todos os materiais obtidos a partir de madeira nacional, em todos os países onde são utilizados. O método baseado na observação directa também é de difícil aplicação à *production approach*, pois requer dados estatísticos das quantidades de produtos florestais produzidos a partir de madeira nacional descartados, sujeitos a decomposição natural e/ou incêndios durante a fase de utilização, e depositados e decompostos em aterro, nos países onde são consumidos.

O método de estimativa directa das emissões e o método baseado na observação directa, também se têm demonstrado de difícil aplicação à *stock-change approach* e à *atmospheric-flow approach*, por indisponibilidade da totalidade dos dados necessários (Gjesdal *et al.*, 1996; Flugsrud *et al.*, 2001). Por seu lado, o método de estimativa directa dos *stocks* apenas é adequado para contabilizar o carbono associado aos produtos de madeira sólida usados em edifícios (como materiais de construção e mobiliário) e em estruturas de engenharia civil (Flugsrud *et al.*, 2001; Pingoud *et al.*, 2001; Pingoud *et al.*, 2003; UNFCCC, 2003). Contudo, este método pode ser usado em combinação com um método *inflow-outflow*, de modo a abranger a totalidade dos produtos florestais. Com efeito, na Noruega, foi desenvolvido um método em que a remoção de carbono associada aos produtos florestais usados em edifícios foi estimada directamente a partir dos seus *stocks*, enquanto que a remoção de carbono associada ao papel em uso e aos produtos florestais em aterro foi obtida com base nos tempos de vida dos produtos (Gjesdal *et al.*, 1996; Flugsrud *et al.*, 1996; Flugsrud *et al.*, 2001). O método baseado nos tempos de vida é de fácil aplicação à

stock-change approach e à *atmospheric-flow approach*, permitindo uma quantificação completa do carbono armazenado nos produtos florestais.

Até à data foram propostos dois sistemas metodológicos com o objectivo de quantificar a remoção de carbono associada aos produtos florestais no âmbito dos inventários nacionais de emissões de GEEs. O primeiro foi proposto por Winjum *et al.* (1998), praticamente no início da discussão destas questões no âmbito da CQNUAC, e o segundo foi proposto mais recentemente pelo IPCC, no GPG LULUCF (IPCC, 2003).

6.1.2.2. Método de Winjum *et al.* (1998)

Winjum *et al.* (1998) sugeriram um método de cálculo simples para a *stock-change approach* e a *atmospheric-flow approach*, passível de ser usado por todos os países, baseado nos tempos de vida dos produtos florestais.

Neste método, a acumulação de carbono é quantificada para quatro tipos de produtos florestais semi-processados, designadamente, madeira serrada, painéis de madeira, outra madeira industrial e papel e cartão. Os produtos florestais foram divididos em duas categorias de acordo com a sua longevidade: produtos com tempo de vida curto e produtos com tempo de vida longo. Os produtos com tempo de vida curto são aqueles que duram menos de cinco anos, sendo assumido que oxidam no ano a que se refere o inventário. Por sua vez, os produtos com tempo de vida longo duram mais de 5 anos, sendo considerado que a sua decomposição (ou queima) ocorre a taxa constante ao longo do tempo (perfil de decomposição linear).

Os valores estabelecidos neste método para a fracção de produtos com tempo de vida longo são apresentados na Tabela 6.3 e foram baseados em valores reportados noutros estudos (Kurz *et al.*, 1992; Nabuurs e Mohren, 1993; Row e Phelps, 1996).

Na Tabela 6.3 são igualmente apresentadas as taxas de decomposição dos produtos propostas por Winjum *et al.* (1998) para cada uma das regiões florestais (boreal, temperada e tropical), que são também baseadas na literatura (Dewar, 1990; Kurz *et al.*, 1992; Nabuurs e Mohren, 1993; Karjalainen *et al.*, 1995; Row e Phelps, 1996). Estas taxas indicam a fracção de produtos que é decomposta ou queimada anualmente, relativamente à quantidade de produtos colocada em uso. Os tempos de vida máximos correspondentes a estas taxas constam da Tabela A.1 do anexo A e abrangem o tempo em uso e em aterro conjuntamente.

Tabela 6.3 - Valores para a fracção de produtos com tempo de vida longo e a taxa de decomposição dos produtos propostos por Winjum *et al.* (1998).

Produto	Fracção com tempo de vida longo	Taxa de decomposição dos produtos (ano ⁻¹)		
		Região boreal	Região temperada	Região tropical
Madeira serrada	0,8	0,005	0,01	0,02
Painéis de madeira	0,9	0,01	0,02	0,04
Outra madeira industrial	0,7	0,02	0,04	0,08
Papel e cartão	0,6	0,005	0,01	0,10

Winjum *et al.* (1998) propõem a utilização de dados estatísticos de produção, importação e exportação de madeira e de produtos florestais compilados pela FAO na base de dados *FAOSTAT Forestry Data* (FAO, 2004), pois esta base de dados apresenta uma cobertura geográfica mundial e uma cobertura temporal relativamente elevada, disponibilizando dados a partir do ano 1961. Os materiais abrangidos por esta base de dados e as respectivas definições são apresentados no Anexo D.

Winjum *et al.* (1998) sugerem igualmente valores *default* para a massa volúmica da madeira e dos produtos de madeira sólida, para a fracção de casca na madeira e para a fracção de carbono na massa seca da madeira e dos produtos florestais (Tabela 6.4), necessários para converter os valores da FAO (reportados em unidades de volume para a madeira em bruto e para os produtos de madeira sólida, e em unidades de massa húmida para o papel e cartão) para unidades de massa de carbono. Os valores apresentados para a massa volúmica são típicos de cada uma das regiões florestais e foram estabelecidos com base na literatura (Chudnoff, 1984; USDA Forest Service, 1987; Reyes *et al.*, 1992; FAO, 1995), consoante as espécies florestais mais comuns em cada região. Os valores indicados para a fracção de casca na madeira em bruto são valores médios obtidos na literatura (Haygreen e Bowyer, 1989) e o teor de carbono na matéria seca proposto é de 50% (Brown, 1997), tanto para a madeira como para os vários produtos.

O método de Winjum *et al.* (1998) tem sido usado em vários países, embora com alguns ajustes efectuados ao nível dos dados de entrada, de modo a traduzir com mais rigor as condições específicas de cada país.

Assim, Nabuurs e Sikkema (2001) aplicaram este método à Holanda, à Suécia e ao Gabão, mas complementaram os dados estatísticos da FAO com dados das estatísticas nacionais.

Tabela 6.4 - Valores para a massa volúmica, a fracção de casca e a fracção de carbono na madeira em bruto e nos produtos florestais propostos por Winjum *et al.* (1998).

Madeira/Produto	Massa volúmica (Mg seco m ⁻³)			Fracção mássica de casca (*)	Fracção de carbono na matéria seca
	Região boreal	Região temperada	Região tropical		
Madeira em bruto de resinosas	0,40	0,40	0,50	0,11	0,50
Madeira em bruto de folhosas	0,45	0,50	0,60	0,13	0,50
Madeira em bruto agregada	0,42	0,45	0,55	0,12	0,50
Madeira serrada de resinosas	0,42	0,42	0,53	-	0,50
Madeira serrada de folhosas	0,47	0,53	0,63	-	0,50
Madeira serrada agregada	0,44	0,48	0,58		0,50
Painéis de madeira	0,52	0,52	0,62	-	0,50
Outra madeira industrial de resinosas	0,56	0,56	0,60	-	0,50
Outra madeira industrial de folhosas	0,64	0,64	0,70	-	0,50
Outra madeira industrial agregada	0,60	0,60	0,65		0,50
Papel e cartão	-	-	-	-	0,50

(*) Expressa relativamente à madeira do tronco.

Ford-Robertson *et al.* (1999) usaram este método na Nova Zelândia, recorrendo a dados de produção, importação e exportação de madeira e de produtos florestais provenientes de estatísticas nacionais, compilados desde o ano de 1946. Utilizaram também valores típicos da madeira e dos produtos florestais neo-zelandeses para os parâmetros usados na conversão das unidades, que diferem dos fornecidos por Winjum *et al.* (1998) no caso da massa volúmica da madeira serrada e dos painéis de madeira (0,40 e 0,70 Mg seco m⁻³, respectivamente) e do teor de carbono no papel (45%). Além disso, usaram os tempos de vida sugeridos por Winjum *et al.* (1998), mas assumiram que incluem apenas o tempo que os produtos permanecem em uso.

Jäkel *et al.* (1999) aplicaram este método à Áustria, à Alemanha, à Finlândia e a Portugal, mas consideraram que o teor de carbono no papel é de apenas 25%.

Flugsrud *et al.* (2001), na aplicação deste método à Noruega, admitiram um teor de humidade do papel de 5%, enquanto que Winjum *et al.* (1998) omitiram este parâmetro na conversão da massa de papel para massa de carbono. Além disso, consideraram tempos de vida para os produtos diferentes dos sugeridos por Winjum *et al.* (1998) e que excluem o tempo de permanência em aterro (ver Tabela A.1 do anexo A).

Do mesmo modo, Poker *et al.* (2002), nas estimativas efectuadas para a Alemanha usando este método, adoptaram tempos de vida diferentes dos apresentados por Winjum *et al.* (1998),

referentes apenas à fase de uso (ver Tabela A.1 do anexo A). Estes autores utilizaram ainda valores típicos das condições alemãs para a fracção de papel com tempo de vida longo (igual a apenas 0,1), a massa volúmica dos produtos florestais (0,50, 0,75 e 0,50 Mg seco m⁻³, respectivamente para madeira serrada, painéis de madeira e outra madeira industrial) e a humidade do papel (10%). Além disso, usaram dados de produção e de comércio internacional de madeira e de produtos florestais provenientes de estatísticas nacionais.

Hashimoto *et al.* (2002) introduziram alterações ao método de Winjum *et al.* (1998), após terem verificado que, em países como a Holanda, a Coreia do Sul, o Japão e a China, onde as taxas de reciclagem de papel ou o consumo de outras fibras vegetais, que não madeira, para produção de papel são elevados, o carbono contido nos produtos florestais produzidos é superior ao carbono contido na madeira consumida. Assim, sugeriram que o papel produzido a partir de papel recuperado e de outras fibras vegetais que não madeira seja excluído dos cálculos.

6.1.2.3. Métodos do GPG LULUCF

No GPG LULUCF é proposta uma hierarquia de métodos de complexidade e grau de exigência de dados crescentes. O método de 1º nível corresponde ao método actual das *IPCC Guidelines*, que considera que todo o carbono presente na biomassa cortada é emitido para a atmosfera no ano do corte. O método de 2º nível é baseado nos tempos de vida dos produtos e é denominado de *first order decay method* pois considera que a decomposição dos produtos florestais obedece a uma cinética de primeira ordem. Para o 3º nível, o GPG LULUCF indica três tipos de métodos designados de *country-specific*. O método A consiste na estimativa directa dos *stocks*. O método B é do tipo *inflow-outflow*, em que os fluxos de entrada e de saída dos reservatórios de produtos em uso e em aterro são obtidos a partir de dados detalhados, específicos de cada país. Este método permite o uso combinado de métodos baseados nos tempos de vida e na observação directa (o GPG LULUCF refere que os fluxos de entrada dos produtos florestais em aterro podem ser obtidos a partir de dados estatísticos). O método C consiste num método combinado, em que o método A é aplicado a determinados produtos florestais e o método B é aplicado a outros produtos florestais.

O GPG LULUCF descreve detalhadamente o procedimento de cálculo do método de 2º nível, para a *stock-change approach*, a *production approach* e a *atmospheric-flow approach*, e fornece valores *default* para os dados de entrada que lhe estão subjacentes. Segundo este método, a acumulação de carbono deve ser estimada separadamente para, pelo menos, dois tipos de produtos florestais: os produtos de madeira sólida, que incluem a madeira serrada e os painéis de madeira, e o papel e cartão. Além disso, o método faz uma distinção entre a acumulação de carbono nos produtos em uso e nos produtos em aterro. Relativamente aos produtos em aterro, o GPG LULUCF recomenda que seja feita uma distinção entre o *stock* de carbono permanente e o *stock* de carbono

degradável, mas não indica equações detalhadas para o seu cálculo, referindo que o método requer mais desenvolvimento neste aspecto. Neste sentido o método tem de ser compatível com o método de 2º nível recomendado nas *IPCC Guidelines* para o cálculo das emissões de CH₄ decorrentes da deposição de resíduos em aterro (também denominado de *first order decay method*).

O GPG LULUCF apresenta os valores *default* constantes da Tabela 6.5 para a taxa de decomposição anual de produtos em uso (a fracção de produtos que é retirada de uso anualmente, relativamente ao *stock* de produtos em uso). A título informativo, são igualmente apresentados na Tabela 6.5 os tempos de semi-vida correspondentes.

Tabela 6.5 - Valores para a taxa de decomposição e o tempo de semi-vida dos produtos florestais em uso, propostos como *default* no GPG LULUCF.

Produto	Taxa de decomposição dos produtos em uso (ano ⁻¹)	Tempo de semi-vida dos produtos em uso (anos) (*)
Madeira serrada	0,0198	35
Contraplacados, folhas de madeira e painéis estruturais	0,0231	30
Painéis não estruturais	0,0347	20
Papel	0,3466	2

(*) Tempo de semi-vida = $\ln 2$ / taxa de decomposição anual

Também neste método é proposto o uso de dados estatísticos de produção, importação e exportação de madeira e de produtos florestais da *FAOSTAT Forestry Data*. Na Tabela 6.6 são indicados os valores *default* sugeridos no GPG LULUCF para a massa volúmica da madeira em bruto e dos produtos de madeira sólida e para o teor de sólidos na pasta e no papel (genericamente designados por factores de conversão para massa seca) e para a fracção de carbono na madeira em bruto e nos produtos florestais, necessários para expressar todos os fluxos em massa de carbono. Os valores de massa volúmica dos produtos de madeira sólida foram estabelecidos com base em Haynes (1990) e a fonte dos restantes parâmetros não é referida no GPG LULUCF.

Tabela 6.6 - Valores propostos no GPG LULUCF para o factor de conversão para massa seca (massa volúmica no caso da madeira em bruto e dos produtos de madeira sólida, e teor de sólidos no caso da pasta e papel) e para a fracção de carbono na madeira em bruto e nos produtos florestais.

Madeira/Produto	Factor de conversão para massa seca (madeira sólida: Mg seco m⁻³ ; pasta e papel: kg seco kg⁻¹)	Fracção de carbono na matéria seca
Madeira em bruto de resinosas	0,45	0,50
Madeira em bruto de folhosas	0,56	0,50
Madeira industrial em bruto de resinosas	0,49	0,50
Madeira industrial em bruto de folhosas	0,56	0,50
Madeira serrada de resinosas	0,45	0,50
Madeira serrada de folhosas	0,56	0,50
Folhas de madeira	0,59	0,50
Contraplacados	0,48	0,50
Painéis de partículas	0,26	0,50
Painéis de fibras duros	1,02	0,50
Painéis de fibras MDF	0,50	0,50
Papel e cartão	0,9	0,50
Papel recuperado	0,9	0,50
Pasta de madeira	0,9	0,50
Pasta de fibra recuperada	0,9	0,50
Pasta de outras fibras	0,9	0,50

O método de 2º nível, por ser relativamente recente, foi aplicado em menos estudos que o método de Winjum *et al.* (1998). Pingoud *et al.* (2003) utilizaram o método de 2º nível para estimar a remoção de carbono associada aos produtos florestais ao nível global e em vários países, incluindo Portugal. Estes autores consideraram apenas dois reservatórios de produtos florestais, nomeadamente produtos de madeira sólida em uso e papel e cartão em uso. Além disso, adoptaram valores para a taxa de decomposição e para alguns factores de conversão diferentes dos valores *default* do GPG LULUCF. Assim, consideraram uma taxa de decomposição de 0,033 ano⁻¹ (tempo de semi-vida de 21 anos) para os produtos de madeira sólida e de 1 ano⁻¹ (tempo de semi-vida de 0,7 anos) para o papel e cartão. O valor utilizado para a massa volúmica da madeira e dos produtos de madeira sólida foi de 0,45 Mg seco m⁻³.

Por seu lado, Skog *et al.* (2004) aplicaram o método de 2º nível aos Estados Unidos, tendo diferenciado quatro reservatórios de produtos florestais: produtos de madeira sólida em uso, papel e cartão em uso, produtos de madeira sólida em aterro e papel e cartão em aterro. Estes autores apresentaram um procedimento de cálculo detalhado para a determinação da variação dos *stocks*

de carbono nos produtos florestais em aterro, consistente com o método de 2º nível proposto nas *IPCC Guidelines* para quantificação das emissões de CH₄ associadas aos resíduos depositados em aterro e descrito com mais pormenor no “*Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*” (GPGUM NGGI), também publicado pelo IPCC (IPCC, 2000a). Assim, distinguiram três tipos de *stocks* em aterro, nomeadamente, o *stock* de carbono permanente (que não sofre qualquer tipo de decomposição), o *stock* de carbono degradável que sofre decomposição anaeróbia (sendo decomposto segundo uma exponencial de 1ª ordem) e o *stock* de carbono degradável que sofre decomposição aeróbia (sendo totalmente emitido para a atmosfera no ano a que se refere o inventário). Estes autores consideraram que, em condições anaeróbias, apenas 3% dos produtos de madeira sólida e 28% dos produtos de papel sofrem decomposição (valores estabelecidos com base em Micales e Skog (1997)), a uma taxa de 0,05 ano⁻¹ (tempo de semi-vida de 14 anos), igual à recomendada no GPGUM NGGI. Os valores das taxas de decomposição e de alguns factores de conversão adoptados para os produtos florestais em uso são diferentes dos valores *default* do GPG LULUCF. Assim, para a taxa de decomposição dos produtos de madeira sólida e para os produtos de papel utilizaram, respectivamente, os valores de 0,0198 ano⁻¹ (tempo de semi-vida de 35 anos) e de 0,693 ano⁻¹ (tempo de semi-vida de 1 ano), estabelecidos com base em Skog e Nicholson (1998), enquanto que para a massa volúmica da madeira e dos produtos de madeira sólida usaram o valor de 0,45 Mg seco m⁻³.

6.1.3. Aplicação a Portugal das abordagens para quantificação do balanço de carbono nos produtos florestais

As diferentes abordagens para quantificação da remoção de carbono associada aos produtos florestais foram aplicadas a Portugal por Jäkel *et al.* (1999), Eggers (2002) e Pingoud *et al.* (2003), utilizando metodologias distintas.

Assim, no estudo realizado por Jäkel *et al.* (1999) foram aplicadas as três abordagens, recorrendo ao método de Winjum *et al.* (1998) mas, tal como foi referido anteriormente, o teor de carbono considerado para o papel foi de apenas 25% ao invés dos 50% propostos no método usado.

Por seu lado, Eggers (2002) adoptou uma metodologia baseada nos tempos de vida dos produtos florestais, válida apenas para a *production approach*, na qual os fluxos de carbono desde que a madeira é cortada até ao destino final dos produtos florestais são seguidos. Para o efeito, estabeleceu uma estrutura típica para a indústria florestal, a utilização de produtos e o destino final dos produtos em Portugal, que foi mantida constante ao longo do tempo (Tabelas 6.7, 6.8, 6.9 e

6.10), e considerou que a decomposição dos produtos em uso segue uma decomposição logística (Figura 6.5) e que a decomposição dos produtos em aterro é linear à taxa de 0,05 ano⁻¹.

Tabela 6.7 - Distribuição da madeira em bruto cortada pelas diferentes linhas de produção de produtos florestais considerada por Eggers (2002).

Linha de produção	Destino da madeira em bruto (%)	
	De resinosas	De folhosas
Pasta química	23,63	71,68
Madeira serrada	60,27	15,51
Folhas de madeira e contraplacados	3,47	3,16
Painéis de partículas e de fibras	10,14	9,23
Outra madeira industrial	2,49	0,41

Tabela 6.8 - Quantidade de madeira efectivamente incorporada nos produtos florestais e modo como se repartem as perdas associadas ao processamento da madeira, em cada linha de produção, consideradas por Eggers (2002).

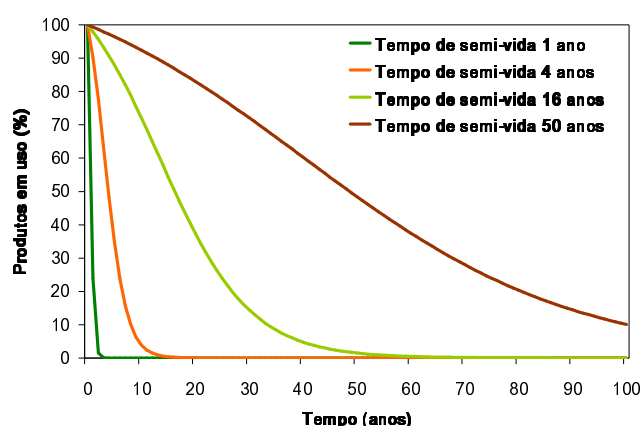
Categoria de produto	Distribuição da madeira em bruto (%)			
	Produto final	Energia	Prod. pasta	Prod. painéis partículas
Pasta química	47,2	52,8	0	0
Madeira serrada	43	17	13	27
Folhas de madeira e contraplacados	53	37,5	0	9,5
Painéis de partículas e de fibras	66,9	23	8	2,1
Outra madeira industrial	1	0	0	0

Tabela 6.9 - Distribuição dos produtos florestais pelas quatro categorias de uso consideradas por Eggers (2002).

Categoria de produto	Distribuição dos produtos por categoria de tempo de semi-vida (%)			
	50	16	4	1
	anos	anos	anos	ano
Pasta química	0	0	33	67
Madeira serrada	35	45	0	20
Folhas de madeira e contraplacados	5	35	0	60
Painéis de partículas e de fibras	20	50	0	30
Outra madeira industrial	35	45	0	20

Tabela 6.10 - Distribuição dos produtos florestais pelas diferentes alternativas de destino final considerada por Eggers (2002).

Categoria de produto	Destino final dos produtos (%)		
	Reciclagem	Aterro	Incineração
Madeira sólida com tempo de semi-vida 50 anos	30	35	35
Madeira sólida com tempo de semi-vida 16 anos	25	50	25
Madeira sólida com tempo de semi-vida 1 ano	15	45	40
Papel	72	14	14

**Figura 6.5 - Perfis de decomposição dos produtos em uso considerados por Eggers (2002).**

Por fim, Pingoud *et al.* (2003) aplicaram o método de 2º nível do GPG LULUCF às três abordagens, embora utilizando valores para as taxas de decomposição dos produtos em uso e para alguns factores de conversão diferentes dos valores *default* do GPG LULUCF, tal como foi referido anteriormente.

Os resultados dos três estudos não são completamente comparáveis, na medida em que os períodos e os reservatórios considerados em cada um deles nem sempre são coincidentes. Segundo Jäkel *et al.* (1999), que apresentam resultados para a remoção de carbono nos produtos florestais em uso e em aterro (em conjunto), no ano 1990 a *atmospheric-flow approach* foi a abordagem mais favorável para Portugal (remoção de carbono de cerca de 500 Gg C ano⁻¹), seguida da *production approach* (remoção de carbono de cerca de 400 Gg C ano⁻¹) e, finalmente, da *stock-change approach* (remoção de carbono nula). Por seu lado, os resultados obtidos por Pingoud *et al.* (2003) para a remoção de carbono associada aos produtos em uso no ano 2000 também sugerem que a *atmospheric-flow approach* foi a abordagem mais favorável (remoção de

carbono de 734 Gg C ano⁻¹). Contudo, com a *stock-change approach* foi obtida uma remoção de carbono superior à obtida com a *production approach* (de 313 e 180 Gg C ano⁻¹, respectivamente). Finalmente, Eggers (2002), que aplicou apenas a *production approach*, concluiu que a acumulação de carbono nos produtos em uso no ano 2000 foi nula, mas nos produtos em aterro foi de cerca de 300 Gg C ano⁻¹. Em nenhum destes estudos é avaliada a incerteza associada aos resultados.

6.1.4. Objectivo

O objectivo deste capítulo consiste na determinação da remoção de carbono associada aos produtos florestais em Portugal, de acordo com a *stock-change approach*, a *production approach* e a *atmospheric-flow approach*. Nesse sentido, foram aplicados três métodos distintos: o método de Winjum *et al.* (1998), o método de 2º nível do GPG LULUCF e um método desenvolvido no presente estudo, consistente com o método B de 3º nível do GPG LULUCF.

6.2. Metodologia

A metodologia de cálculo da remoção de carbono promovida pelos produtos florestais para os diferentes métodos e abordagens considerados neste estudo é seguidamente descrita. De igual modo, é apresentada a metodologia utilizada na análise de incerteza, realizada com base no método de Monte Carlo, para verificar de que modo a qualidade dos dados afecta as conclusões. Finalmente, são apresentados os cenários alternativos avaliados no âmbito da análise de sensibilidade efectuada.

6.2.1. Método de Winjum *et al.* (1998)

6.2.1.1. *Stock-change approach*

A remoção de carbono associada aos produtos florestais dada pela *stock-change approach*, num determinado ano, foi calculada a partir da variação dos *stocks* de carbono nos diferentes tipos de produtos consumidos (Equação 6.1), a qual é igual à diferença entre o consumo, nesse ano, de produtos com tempo de vida longo (expresso em unidades de massa de carbono) e as emissões

de carbono que ocorrem, também nesse ano, resultantes da decomposição ou queima de produtos com tempo de vida longo consumidos em anos anteriores (Equação 6.2).

$$R_{SCAt} = \sum_i VSPC_{ti} \quad \text{Equação 6.1}$$

onde,

R_{SCAt} = remoção de carbono dada pela *stock-change approach*, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

$VSPC_{ti}$ = variação dos *stocks* de carbono no produto consumido i , no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

i = madeira serrada (quando os dados estatísticos permitiram foi dividida em madeira serrada de resinosas e de folhosas), painéis de madeira, outra madeira industrial (quando os dados estatísticos permitiram foi dividida em madeira serrada de resinosas e de folhosas) e papel e cartão.

$$VSPC_{ti} = CPL_{ti} - ECPL_{ti} \quad \text{Equação 6.2}$$

onde,

CPL_{ti} = carbono associado ao consumo do produto i com tempo de vida longo, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

$ECPL_{ti}$ = emissões de carbono que ocorrem no ano t , resultantes da decomposição ou queima do produto i com tempo de vida longo consumido em anos anteriores ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

Por seu lado, CPL_{ti} e $ECPL_{ti}$, foram determinados de acordo com as Equações 6.3 e 6.4, respectivamente. O período considerado no cálculo de $ECPL_{ti}$ deveria igualar o tempo de vida dos produtos florestais. No entanto, como os dados estatísticos da FAO só estão disponíveis a partir do ano 1961, os autores deste método assumiram que as emissões de carbono resultantes da decomposição ou queima de produtos com tempo de vida longo consumidos antes de 1961 são desprezáveis.

$$CPL_{ti} = (PP_{ti} + IP_{ti} - EP_{ti}) \times FLC_i \quad \text{Equação 6.3}$$

onde,

PP_{ti} = carbono associado à produção do produto i , no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

IP_{ti} = carbono associado à importação do produto i , no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

EP_{ti} = carbono associado à exportação do produto i , no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

FLC_i = fracção do produto consumido i com tempo de vida longo.

$$ECPL_{ti} = (CPL_{(t-TC_i+1)i} + \dots + CPL_{(t-1)i} + CPL_{ti}) \times TDC_i \quad \text{Equação 6.4}$$

onde,

TC_i = tempo de vida do produto consumido i (anos);

TDC_i = taxa de decomposição anual do produto consumido i (ano^{-1})¹.

6.2.1.2. *Atmospheric-flow approach*

Apesar de, no âmbito da *atmospheric-flow approach*, Winjum *et al.* (1998) sugerirem um procedimento para o cálculo da remoção de carbono associada aos produtos florestais segundo a perspectiva dos fluxos, no presente trabalho foi adoptado um procedimento de cálculo segundo a perspectiva da variação dos *stocks*, com o objectivo de facilitar a comparação deste método com os outros dois analisados.

Assim, a remoção de carbono associada aos produtos florestais segundo a perspectiva da variação dos *stocks* (Equação 6.5) foi obtida partindo das definições dadas por Winjum *et al.* (1998) para as emissões decorrentes da decomposição ou queima dos materiais produzidos a partir de madeira (que incluem a madeira para queima consumida, os resíduos do processamento da madeira industrial consumida, os produtos com tempo de vida curto e os produtos com tempo de vida longo consumidos em anos anteriores), e tendo presente a definição de remoção de carbono associada aos produtos florestais segundo a perspectiva dos fluxos (Tabela 6.2). Esta dedução é apresentada detalhadamente no Anexo E.

A Equação 6.5 indica que a remoção de carbono dada pela *atmospheric-flow approach* é igual à soma da remoção de carbono dada pela *stock-change approach* com a exportação líquida² de carbono na forma de madeira em bruto e de produtos semi-processados.

$$R_{AFA_t} = R_{SCA_t} + ELM_t + ELMQ_t + \sum_i ELP_{ti} \quad \text{Equação 6.5}$$

onde,

R_{AFA_t} = remoção de carbono dada pela *atmospheric-flow approach*, no ano t (Gg C ano^{-1});

ELM_t = carbono associado à exportação líquida de madeira industrial em bruto, no ano t (Gg C ano^{-1});

$ELMQ_t$ = carbono associado à exportação líquida de madeira em bruto para queima, no ano t (Gg C ano^{-1});

ELP_{ti} = carbono associado à exportação líquida do produto i , no ano t (Gg C ano^{-1}).

¹ Inclui decomposição e queima.

² Diferencial entre a exportação e a importação.

6.2.1.3. *Production approach*

A abordagem *production approach* não é considerada por Winjum *et al.* (1998), pelo que os conceitos subjacentes à metodologia indicada para a *stock-change approach* foram adoptados para aplicação neste caso específico.

Assim, a remoção de carbono associada aos produtos florestais dada pela *production approach*, num determinado ano, foi calculada a partir da variação dos *stocks* de carbono nos diferentes tipos de produtos produzidos a partir de madeira nacional (Equação 6.6). Por seu lado, esta variação dos *stocks* de carbono é igual à diferença entre a produção, a partir de madeira nacional, de produtos com tempo de vida longo, nesse ano (expressa em unidades de massa de carbono), e as emissões de carbono que ocorrem, também nesse ano, resultantes da decomposição ou queima de produtos com tempo de vida longo, produzidos a partir de madeira nacional em anos anteriores (Equação 6.7).

$$R_{PA_t} = \sum_i VSPPN_{ti} \quad \text{Equação 6.6}$$

onde,

R_{PA_t} = remoção de carbono dada pela *production approach*, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

$VSPPN_{ti}$ = variação dos *stocks* de carbono no produto i , produzido a partir de madeira nacional, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

$$VSPPN_{ti} = PPNL_{ti} - EPPNL_{ti} \quad \text{Equação 6.7}$$

onde,

$PPNL_{ti}$ = carbono associado à produção, a partir de madeira nacional, do produto i com tempo de vida longo, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

$EPPNL_{ti}$ = emissões de carbono que ocorrem no ano t , resultantes da decomposição ou queima do produto i com tempo de vida longo, produzido a partir de madeira nacional, em anos anteriores ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

Os valores de $PPNL_{ti}$ foram estimados de acordo com a Equação 6.8 para a madeira serrada, os painéis de madeira e a outra madeira industrial, e de acordo com a Equação 6.9 para o papel e cartão, tendo por base o procedimento de cálculo indicado no GPG LULUCF para o método de 2º nível. Este procedimento de cálculo parte do princípio que as proporções dos diferentes tipos de produtos florestais produzidos a partir de madeira nacional são iguais às dos produtos florestais produzidos a partir da madeira consumida (o que implica que a repartição da madeira nacional por cada linha de produção é proporcional à repartição da madeira consumida e as eficiências de transformação são semelhantes, quer se trate de madeira nacional ou de madeira consumida).

Além disso, a Equação 6.9 considera que o papel e cartão produzidos podem ter origem em pasta de madeira, papel recuperado e pasta de fibra reciclada importados (assume que as perdas de fibra no processo de produção de papel são negligenciáveis) e que a madeira consumida pode originar pasta de madeira, papel recuperado e pasta de fibra reciclada que são exportados, não sendo, portanto, integrados no papel produzido.

$$PPNL_{ti} = PP_{ti} \times FLPN_i \times PMI_t / (PMI_t + IMI_t - EMI_t) \quad \text{Equação 6.8}$$

para i = madeira serrada (quando os dados estatísticos permitiram foi dividida em madeira serrada de resinosas e de folhosas), painéis de madeira e outra madeira industrial (quando os dados estatísticos permitiram foi dividida em madeira serrada de resinosas e de folhosas)

onde,

$FLPN_i$ = fração do produto i , produzido a partir de madeira nacional, com tempo de vida longo;

PMI_t = carbono associado à produção de madeira industrial em bruto, no ano t (Gg C ano⁻¹);

IMI_t = carbono associado à importação de madeira industrial em bruto, no ano t (Gg C ano⁻¹);

EMI_t = carbono associado à exportação de madeira industrial em bruto, no ano t (Gg C ano⁻¹).

$$PPNL_{ti} = (PP_{ti} + EPM_t - IPM_t + EPR_t - IPR_t + EPFR_t - IPFR_t) \times FLPN_i \times \frac{PMI_t}{(PMI_t + IMI_t - EMI_t)} \quad \text{Equação 6.9}$$

para i = papel e cartão

onde,

EPM_t = carbono associado à exportação de pasta de madeira, no ano t (Gg C ano⁻¹);

IPM_t = carbono associado à importação de pasta de madeira, no ano t (Gg C ano⁻¹);

EPR_t = carbono associado à exportação de papel recuperado, no ano t (Gg C ano⁻¹);

IPR_t = carbono associado à importação de papel recuperado, no ano t (Gg C ano⁻¹);

$EPFR_t$ = carbono associado à exportação de pasta de fibra recuperada, no ano t (Gg C ano⁻¹);

$IPFR_t$ = carbono associado à importação de pasta de fibra recuperada, no ano t (Gg C ano⁻¹).

O cálculo de $EPPNL_{ti}$ obedeceu à Equação 6.10, sendo que as emissões com origem em produtos produzidos antes de 1961 foram consideradas desprezáveis.

$$EPPNL_{ti} = (PPNL_{(t-TPN_i+1)i} + \dots + PPNL_{(t-1)i} + PPNL_{ti}) \times TDPN_i \quad \text{Equação 6.10}$$

onde,

TPN_i = tempo de vida do produto i , produzido a partir de madeira nacional (anos);

$TDPN_i$ = taxa de decomposição anual do produto i , produzido a partir de madeira nacional (ano⁻¹)³.

³ Inclui decomposição e queima.

6.2.1.4. Dados de entrada

Os dados estatísticos de produção, importação e exportação dos materiais considerados neste método são os disponibilizados pela FAO, tal como é sugerido por Winjum *et al.* (1998).

A massa de carbono associada aos fluxos anuais de produção, importação e exportação da madeira em bruto intervenientes na *production approach* (sem casca) foram estimados de acordo com a Equação 6.11 e os fluxos de importação e exportação da madeira em bruto intervenientes na *atmospheric-flow approach* (com casca) foram obtidos de acordo com a Equação 6.12. Para os vários produtos de madeira sólida e para o papel e cartão e os outros materiais fibrosos considerados, a massa de carbono presente nos fluxos anuais de produção, importação e exportação foram obtidos pelas Equações 6.13 e 6.14, respectivamente.

$$F_{MBPA} = V_{MB} \times MV_{MB} \times C_{MB} \times 10^{-3} \quad \text{Equação 6.11}$$

onde,

F_{MBPA} = fluxo (produção, importação ou exportação) anual de carbono na madeira em bruto na *production approach* (Gg C ano⁻¹);

V_{MB} = volume anual de madeira em bruto produzido, importado ou exportado (m³ ano⁻¹);

MV_{MB} = massa volúmica da madeira em bruto (Mg seco m⁻³);

C_{MB} = fracção de carbono presente na madeira em bruto seca.

$$F_{MBAFA} = V_{MB} \times MV_{MB} \times C_{MB} \times (1 + FCM_{MB}) \times 10^{-3} \quad \text{Equação 6.12}$$

onde,

F_{MBAFA} = fluxo (importação ou exportação) anual de carbono na madeira em bruto na *atmospheric-flow approach* (Gg C ano⁻¹);

FCM_{MB} = fracção mássica de casca presente na madeira em bruto (expressa relativamente à madeira do tronco).

$$F_{PMS} = V_{PMS} \times MV_{PMS} \times C_{PMS} \times 10^{-3} \quad \text{Equação 6.13}$$

onde,

F_{PMS} = fluxo (produção, importação ou exportação) anual de carbono nos produtos de madeira sólida (Gg C ano⁻¹);

V_{PMS} = volume anual de produtos de madeira sólida produzido, importado ou exportado (m³ ano⁻¹);

MV_{PMS} = massa volúmica dos produtos de madeira sólida (Mg seco m⁻³);

C_{PMS} = fracção de carbono presente na matéria seca dos produtos de madeira sólida.

$$F_P = M_P \times C_P \quad \text{Equação 6.14}$$

onde,

F_P = fluxo (produção, importação ou exportação) anual de carbono no papel e cartão, na pasta de madeira, no papel recuperado e na pasta de fibra reciclada ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

M_P = massa anual de papel e cartão, pasta de madeira, papel recuperado e pasta de fibra reciclada produzida, importada ou exportada ($Gg\ ano^{-1}$);

C_P = fracção de carbono presente na matéria seca do papel e cartão, da pasta de madeira, do papel recuperado e da pasta de fibra reciclada.

Os valores usados para a massa volúmica (da região temperada), a fracção mássica de casca e a fracção de carbono são apresentados na Tabela 6.4. Para a fracção de carbono nos outros materiais fibrosos contemplados na *production approach* foi adoptado o mesmo valor que para o papel e cartão.

Para a fracção de produtos com tempo de vida longo (FLC_i e $FLPN_i$) e para a taxa de decomposição dos produtos (TDC_i e $TDPN_i$) foram usados os valores da Tabela 6.3 (referentes à região temperada). Por sua vez, o tempo de vida dos produtos (TC_i e TPN_i) é igual ao inverso da taxa de decomposição (ver Tabela A.1 do Anexo A).

6.2.2. Método de 2º nível do GPG LULUCF

6.2.2.1. *Stock-change approach*

Para a *stock-change approach*, a remoção de carbono associada aos produtos florestais, num determinado ano, foi calculada a partir da soma da variação dos *stocks* de carbono nos produtos consumidos em uso com a variação dos *stocks* de carbono nos produtos consumidos em aterro (Equação 6.15). Os cálculos foram efectuados separadamente para produtos de madeira sólida (madeira serrada e painéis de madeira considerados conjuntamente) e papel e cartão.

$$R_{SCAt} = \sum_i VSPCU_{ti} + \sum_i VSPCA_{ti} \quad \text{Equação 6.15}$$

onde,

$VSPCU_{ti}$ = variação dos *stocks* de carbono no produto consumido i , em uso, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

$VSPCA_{ti}$ = variação dos *stocks* de carbono no produto consumido i , em aterro, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

i = produtos de madeira sólida, e papel e cartão.

$VSPCU_{ti}$ foi calculado pela diferença entre os *stocks* de carbono nos produtos consumidos em uso no ano do inventário e os *stocks* de carbono nos produtos consumidos em uso no ano anterior (Equação 6.16). Por sua vez, os *stocks* de carbono nos produtos consumidos em uso foram

calculados através da Equação 6.17⁴, usando um processo recursivo, em que os cálculos têm início no ano 1900 e prosseguem até ao ano desejado (no ano 1899, foi assumido que os *stocks* de carbono nos produtos consumidos em uso são nulos⁵).

$$VSPCU_{ti} = SPCU_{ti} - SPCU_{(t-1)i} \quad \text{Equação 6.16}$$

onde,

$SPCU_{ti}$ = *stocks* de carbono no produto consumido i, em uso, no ano t (Gg C ano⁻¹).

$$SPCU_{ti} = (1/(1 + TDCU_i)) \times (CP_{ti} + SPCU_{(t-1)i}) \quad \text{Equação 6.17}$$

onde,

$TDCU_i$ = taxa de decomposição anual do produto consumido i em uso (ano⁻¹)⁶;

CP_{ti} = carbono associado ao consumo do produto i, no ano t (Gg C ano⁻¹).

O cálculo de CP_{ti} é descrito pela Equação 6.18 para os produtos de madeira sólida, e pela Equação 6.19 para o papel e cartão.

$$CP_{ti} = PP_{ti} + IP_{ti} - EP_{ti} \quad \text{Equação 6.18}$$

para i = produtos de madeira sólida

$$CP_{ti} = (PP_{ti} + IP_{ti} - EP_{ti}) \times FPMC_t \quad \text{Equação 6.19}$$

para i = papel e cartão

onde,

$FPMC_t$ = fracção de pasta consumida produzida a partir de madeira, no ano t.

$FPMC_t$ é um factor correctivo do consumo de papel e cartão, com o objectivo de excluir o papel e cartão produzidos a partir de outras fibras vegetais que não a madeira (palha, bambu, etc.), sendo definido na Equação 6.20. Ao aplicar este factor correctivo, admite-se que a proporção de papel e cartão produzidos a partir de madeira (de fibra virgem ou de fibra reciclada) é igual à proporção de

⁴ A Equação 16 resulta da resolução numérica, através da aplicação do método de Euler implícito, da equação diferencial que descreve a variação dos *stocks* de carbono nos produtos florestais consumidos em uso: $dSPCU_i/dt = CP_i(t) - TDCU_i \times SPCU_i$. Assim, por aplicação do método de Euler implícito é obtida a seguinte equação: $(SPCU_{ti} - SPCU_{(t-1)i})/\Delta t = CP_{ti} - TDCU_i \times SPCU_{ti}$. Considerando um intervalo de tempo (Δt) de um ano, igual ao intervalo com que os dados estatísticos de produção e comércio de produtos florestais (que permitem estimar as entradas no reservatório de produtos) são reportados, obtém-se a seguinte equação: $SPCU_{ti} - SPCU_{(t-1)i} = CP_{ti} - TDCU_i \times SPCU_{ti}$ que, resolvida em ordem a $SPCU_{ti}$ resulta na Equação 6.17.

⁵ No GPG LULUCF (pág. 3.264) é referido por lapso que os *stocks* de carbono nos produtos consumidos em uso são nulos no ano 1900.

⁶ Refere-se à taxa a que os produtos são retirados de uso, sendo que os produtos descartados incluem aqueles que posteriormente são sujeitos a reciclagem.

pasta de madeira consumida (assumindo que a eficiência de transformação da pasta de madeira e da pasta de outras fibras é semelhante), e que esta proporção é também válida para o papel importado.

$$FPMC_t = (PPM_t + IPM_t - EPM_t) / ((PPM_t + IPM_t - EPM_t) + (PPOF_t + IPOF_t - EPOF_t))$$

Equação 6.20

onde,

PPM_t = carbono associado à produção de pasta de madeira, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

$PPOF_t$ = carbono associado à produção de pasta de outras fibras, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

$IPOF_t$ = carbono associado à importação de pasta de outras fibras, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

$EPOF_t$ = carbono associado à exportação de pasta de outras fibras, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

Relativamente ao cálculo de $VSPCA_{ti}$, o GPG LULUCF refere que pode ser efectuado do mesmo modo que para os produtos em uso, mas que tem de ser compatível com o método de 2º nível proposto nas *IPCC Guidelines* (e desenvolvido mais detalhadamente no GPGUM NGGI) para quantificação das emissões de CH_4 associadas aos resíduos depositados em aterro. Acrescenta ainda que deve ser feita uma distinção entre o *stock* de carbono permanente e o *stock* de carbono degradável. No presente estudo foi usado o procedimento de cálculo descrito por Skog *et al.* (2004), consistente com as orientações do GPG LULUCF. Assim, $VSPCA_{ti}$ foi calculado pela diferença entre os *stocks* de carbono nos produtos consumidos depositados em aterro no ano do inventário e os *stocks* de carbono nos produtos consumidos depositados em aterro no ano anterior (Equação 6.21).

$$VSPCA_{ti} = SPCA_{ti} - SPCA_{(t-1)i}$$

Equação 6.21

onde,

$SPCA_{ti}$ = *stocks* de carbono no produto consumido i , em aterro, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

$SPCA_{ti}$ foi determinado a partir dos *stocks* de carbono que sofrem decomposição anaeróbia e dos *stocks* de carbono permanentes (Equação 6.22). Neste método é assumido que os *stocks* de carbono que sofrem decomposição aeróbia são totalmente emitidos para a atmosfera no prazo de um ano, pelo que não contribuem para $SPCA_{ti}$.

$$SPCA_{ti} = SPCAP_{ti} + SPCAA_{ti}$$

Equação 6.22

onde,

$SPCAP_{ti}$ = *stocks* de carbono permanentes no produto consumido i , em aterro, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

$SPCAA_{ti}$ = *stocks* de carbono sujeitos a decomposição anaeróbia no produto consumido i , em aterro, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

Por sua vez, $SPCAP_{ti}$ foi estimado de acordo com a Equação 6.23, começando os cálculos no ano 1900 (para $t = 1899$, $SPCAP_i = 0$).

$$SPCAP_{ti} = SPCAP_{(t-1)i} + EPCAP_{ti} \quad \text{Equação 6.23}$$

onde,

$EPCAP_{ti}$ = carbono associado ao produto consumido i , que entra para o *stock* permanente em aterro, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

A Equação 6.24 descreve o algoritmo de cálculo de $EPCAP_{ti}$.

$$EPCAP_{ti} = SPCU_{ti} \times TDCU_i \times FPCA_{ti} \times FCA_{ti} \times (1 - FCDC_i) \quad \text{Equação 6.24}$$

onde,

$FPCA_{ti}$ = fracção de produto consumido i que é enviada para aterro, no ano t ;

FCA_{ti} = fracção de produto consumido i sujeita a condições anaeróbias no aterro, no ano t ;

$FCDC_i$ = fracção de carbono presente no produto consumido i , sujeito a condições anaeróbias, que efectivamente se decompõe.

$SPCAA_{ti}$ foi estimado através de um processo recursivo (Equação 6.25), semelhante ao usado no cálculo de $SPCU_{ti}$, começando por ser determinado para o ano 1900 e continuando até ao ano desejado (para $t = 1899$, $SPCAA_i = 0$).

$$SPCAA_{ti} = (1/(1 + TDCA_i)) \times (EPCAA_{ti} + SPCAA_{(t-1)i}) \quad \text{Equação 6.25}$$

onde,

$TDCA_i$ = taxa de decomposição anual do produto consumido i em aterro (ano^{-1})⁷;

$EPCAA_{ti}$ = carbono associado ao produto consumido i , que entra para o *stock* sujeito a decomposição anaeróbia em aterro, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

Por seu lado, $EPCAA_{ti}$ foi calculado a partir da Equação 6.26.

$$EPCAA_{ti} = SPCU_{ti} \times TDCU_i \times FPCA_{ti} \times FCA_{ti} \times FCDC_i \quad \text{Equação 6.26}$$

6.2.2.2. *Atmospheric-flow approach*

A remoção de carbono dada pela *atmospheric-flow approach* foi obtida somando à remoção de carbono dada pela *stock-change approach* a exportação líquida de carbono na forma de madeira

⁷ Refere-se à decomposição anaeróbia.

em bruto (industrial e para queima), produtos semi-processados (produtos de madeira sólida e papel e cartão) e outros materiais produzidos a partir de madeira (aparas, resíduos, pasta e papel recuperado), como é indicado na Equação 6.27.

$$R_{AFA_t} = R_{SCA_t} + ELMl_t + ELMQ_t + \sum_i ELP_{ti} + \sum_j ELO_{tj} \quad \text{Equação 6.27}$$

onde,

ELO_{tj} = carbono associado à exportação líquida de outro material j , produzido a partir de madeira, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

j = aparas, resíduos de madeira, pasta de madeira, papel recuperado e pasta de fibra recuperada.

Apesar de o GPG LULUCF não o referir, no cálculo da exportação líquida de papel e cartão, papel recuperado e pasta de fibra recuperada foram excluídos os materiais produzidos a partir de outras fibras vegetais que não a madeira, por uma questão de coerência com o modo como é calculado o consumo de papel e cartão (Equações 6.28 e 6.29).

$$ELP_{ti} = (EP_{ti} - IP_{ti}) \times FPMC_t \quad \text{Equação 6.28}$$

para i = papel e cartão

$$ELO_{tj} = (EO_{tj} - IO_{tj}) \times FPMC_t \quad \text{Equação 6.29}$$

para j = papel recuperado e pasta de fibra recuperada

onde,

EO_{tj} = carbono associado à exportação de outro material j , produzido a partir de madeira, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

IO_{tj} = carbono associado à importação de outro material j , produzido a partir de madeira, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

6.2.2.3. *Production approach*

A remoção de carbono dada pela *production approach* foi calculada como na *stock-change approach*, considerando a variação dos *stocks* de carbono nos produtos em uso e em aterro mas, neste caso, os produtos em causa são os produzidos a partir de madeira nacional (Equação 6.30).

$$R_{PA_t} = \sum_i VSPPNU_{ti} + \sum_i VSPPNA_{ti} \quad \text{Equação 6.30}$$

onde,

$VSPPNU_{ti}$ = variação dos *stocks* de carbono no produto i , produzido a partir de madeira nacional, em uso, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

$VSPNA_{ti}$ = variação dos *stocks* de carbono no produto *i*, produzido a partir de madeira nacional, em aterro, no ano *t* (Gg C ano⁻¹).

O algoritmo de cálculo de $VSPNU_{ti}$ foi similar ao usado para a *stock-change approach* (Equações 6.31 e 6.32).

$$VSPNU_{ti} = SPPNU_{ti} - SPPNU_{(t-1)i} \quad \text{Equação 6.31}$$

onde,

$SPPNU_{ti}$ = *stocks* de carbono no produto *i*, produzido a partir de madeira nacional, em uso, no ano *t* (Gg C ano⁻¹).

$$SPPNU_{ti} = (1/(1 + TDPNU_i)) \times (PPN_{ti} + SPPNU_{(t-1)i}) \quad \text{Equação 6.32}$$

onde,

$TDPNU_i$ = taxa de decomposição anual do produto *i*, produzido a partir de madeira nacional, em uso (ano⁻¹)⁸;

PPN_{ti} = carbono associado à produção, a partir de madeira nacional, do produto *i*, no ano *t* (Gg C ano⁻¹).

O cálculo de PPN_{ti} foi efectuado com as Equações 6.33⁹ e 6.34¹⁰, respectivamente, para os produtos de madeira sólida e para o papel e cartão.

$$PPN_{ti} = PP_{ti} \times PMI_t / (PMI_t + IMI_t - EMI_t) \quad \text{Equação 6.33}$$

para *i* = produtos de madeira sólida

$$PPN_{ti} = ((PP_{ti} + EPR_t - IPR_t + EPFR_t - IPFR_t) \times FPMC_t + EPM_t - IPM_t) \times \frac{PMI_t}{(PMI_t + IMI_t - EMI_t)} \quad \text{Equação 6.34}$$

para *i* = papel e cartão

O cálculo da variação dos *stocks* de carbono nos produtos em aterro seguiu um procedimento semelhante ao apresentado para a *stock-change approach*, usando as Equações 6.35 a 6.40.

$$VSPNA_{ti} = SPPNA_{ti} - SPPNA_{(t-1)i} \quad \text{Equação 6.35}$$

⁸ Refere-se à taxa a que os produtos são retirados de uso, sendo que os produtos descartados incluem aqueles que posteriormente são sujeitos a reciclagem.

⁹ Por lapso, no GPG LULUCF (pág. 3.265) em vez de PP_{ti} é indicado CP_{ti} .

¹⁰ A equação apresentada no GPG LULUCF (pág. 3.265) apresenta vários erros. Por um lado, em vez de PP_{ti} é indicado CP_{ti} . Por outro lado, a $FPMC_t$ é usada para corrigir a importação e exportação de pasta de madeira, o que não faz qualquer sentido. Além disso, não é usada a $FPMC_t$ para efectuar a correcção à importação e exportação de papel recuperado e de pasta de fibra recuperada.

onde,

$SPPNA_{ti}$ = *stocks* de carbono no produto i , produzido a partir de madeira nacional, em aterro, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

$$SPPNA_{ti} = SPPNAP_{ti} + SPPNAA_{ti} \quad \text{Equação 6.36}$$

onde,

$SPPNAP_{ti}$ = *stocks* de carbono permanentes no produto i , produzido a partir de madeira nacional, em aterro, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

$SPPNAA_{ti}$ = *stocks* de carbono sujeitos a decomposição anaeróbia no produto i , produzido a partir de madeira nacional, em aterro, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

$$SPPNAP_{ti} = SPPNAP_{(t-1)i} + EPPNAP_{ti} \quad \text{Equação 6.37}$$

onde,

$EPPNAP_{ti}$ = carbono associado ao produto i , produzido a partir de madeira nacional, que entra para o *stock* permanente em aterro, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

$$EPPNAP_{ti} = SPPNU_{ti} \times TDPNU_i \times FPPNA_{ti} \times FPNA_{ti} \times (1 - FCDPN_i) \quad \text{Equação 6.38}$$

onde,

$FPPNA_{ti}$ = fracção de produto i , produzido a partir de madeira nacional, que é enviada para aterro, no ano t ;

$FPNA_{ti}$ = fracção de produto i , produzido a partir de madeira nacional, sujeita a condições anaeróbias no aterro, no ano t ;

$FCDPN_i$ = fracção de carbono presente no produto i , produzido a partir de madeira nacional, sujeito a condições anaeróbias, que efectivamente se decompõe.

$$SPPNAA_{ti} = (1/(1 + TDPNA_i)) \times (EPPNAA_{ti} + SPPNAA_{(t-1)i}) \quad \text{Equação 6.39}$$

onde,

$TDPNA_i$ = taxa de decomposição anual do produto i , produzido a partir de madeira nacional, em aterro (ano^{-1})¹¹;

$EPPNAA_{ti}$ = carbono associado ao produto i , produzido a partir de madeira nacional, que entra para o *stock* sujeito a decomposição anaeróbia em aterro, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

$$EPPNAA_{ti} = SPPNU_{ti} \times TDPNU_i \times FPPNA_{ti} \times FPNA_{ti} \times FCDPN_i \quad \text{Equação 6.40}$$

¹¹ Refere-se à decomposição anaeróbia.

6.2.2.4. Dados de entrada

Neste método, foram usados os dados estatísticos de produção, importação e exportação da FAO para o período de 1961 a 2000. Para o período de 1900 a 1960, não abrangido pela base de dados da FAO, CP_{ti} e PPN_{ti} foram estimados a partir dos dados relativos ao ano 1961, e considerando que o crescimento daqueles fluxos decorreu de forma exponencial (Equação 6.41).

$$F_t = F_{1961} \times e^{\left(\frac{r}{100} \times (t-1961)\right)} \quad \text{Equação 6.41}$$

onde,

F_t = fluxo (CP_{ti} ou PPN_{ti}) no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

r = taxa de crescimento anual do fluxo (CP_{ti} ou PPN_{ti}) antes do ano 1961 ($\%\ ano^{-1}$).

No presente estudo foi adoptado o valor de $1,6\%\ ano^{-1}$ para r , igual à média dos valores sugeridos no GPG LULUCF para a Europa ($1,19$ e $2\%\ ano^{-1}$).

A Equação 6.42 foi usada para converter os volumes produzidos, importados ou exportados de produtos de madeira sólida, madeira em bruto, aparas e partículas e resíduos de madeira para massa de carbono. A conversão da massa de papel e cartão, pasta de madeira, papel recuperado, pasta de fibra reciclada e pasta de outras fibras para massa de carbono foi efectuada de acordo com a Equação 6.43.

$$F_M = V_M \times MV_M \times C_M \times 10^{-3} \quad \text{Equação 6.42}$$

onde,

F_M = fluxo (produção, importação ou exportação) anual de carbono nos produtos de madeira sólida, na madeira em bruto, nas aparas e nos resíduos de madeira ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

V_M = volume anual de produtos de madeira sólida, madeira em bruto, aparas e resíduos de madeira produzido, importado ou exportado ($m^3\ ano^{-1}$);

MV_M = massa volúmica dos produtos de madeira sólida, madeira em bruto, aparas e resíduos de madeira ($Mg\ seco\ m^{-3}$);

C_M = fracção de carbono presente nos produtos de madeira sólida, madeira em bruto, aparas e resíduos de madeira.

$$F_P = M_P \times TS_P \times C_P \quad \text{Equação 6.43}$$

onde,

F_P = fluxo (produção, importação ou exportação) anual de carbono no papel e cartão, na pasta de madeira, no papel recuperado e na pasta de fibra reciclada e na pasta de outras fibras ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

M_P = massa anual de papel e cartão, pasta de madeira, papel recuperado, pasta de fibra reciclada e pasta de outras fibras produzida, importada ou exportada ($Gg\text{ ano}^{-1}$);

TS_P = teor de sólidos no papel e cartão, na pasta de madeira, no papel recuperado, na pasta de fibra reciclada e na pasta de outras fibras ($kg\text{ seco } kg^{-1}$);

C_P = fracção de carbono presente no papel e cartão, na pasta de madeira, no papel recuperado, na pasta de fibra reciclada e na pasta de outras fibras.

Para C_M , C_P e TS_P foram utilizados os valores *default* do GPG LULUCF (Tabela 6.6), enquanto que para M_V foi usado um valor único para produtos de madeira sólida, madeira em bruto, aparas e resíduos de madeira, igual a $0,45\text{ Mg seco m}^{-3}$, tal como foi efectuado por Pingoud *et al.* (2003) e Skog *et al.* (2004).

Quanto à taxa de decomposição dos produtos em uso ($TDCU_i$ e $TDPNU_i$), para o papel e cartão foi usado o valor *default* do GPG LULUCF (Tabela 6.5) e para os produtos de madeira sólida foi usado o valor médio de $0,0231\text{ ano}^{-1}$ (ao qual corresponde um tempo de semi-vida de 30 anos), considerando os valores *default* do GPG LULUCF para a madeira serrada e o valor médio para os painéis de madeira (Tabela 6.5).

Para a taxa de decomposição em aterro dos produtos de madeira sólida e do papel e cartão ($TDCA_i$ e $TDPNA_i$) foi considerado o valor de $0,05\text{ ano}^{-1}$ (correspondente a um tempo de semi-vida de 14 anos), recomendado no GPGUM NGGI.

A fracção de carbono, presente nos produtos de madeira sólida e no papel e cartão, que efectivamente se decompõe em aterro, em condições anaeróbias ($FCD C_i$ e $FCD P N_i$), foi considerada igual a 0,55. Este valor é o valor médio da gama sugerida no GPGUM NGGI para o sector dos resíduos (0,5 a 0,6).

A fracção de produtos de madeira sólida e de papel e cartão enviada para aterro (aterro sanitário e lixeira) em Portugal ($FPCA_{ti}$), no período de 1900 a 2000, é apresentada na Figura 6.6. Os valores para o papel e cartão foram estimados, considerando que o papel e cartão que não é reciclado é parte integrante dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e, como tal, apresenta as mesmas alternativas de destino final e distribui-se por elas nas mesmas proporções que os RSU. A fracção de papel e cartão enviada para reciclagem, entre os anos 1991 e 2000, foi obtida directamente a partir de dados estatísticos publicados pela Celpa (Celpa, 1997; Celpa, 1998; Celpa, 1999; Celpa, 2001; Celpa, 2003). Para os restantes anos foi calculada a partir de dados estatísticos diversos (INE, 1971-1979a; INE, 1971-1979b; IPF, 1981; Celpa, 1985; Celpa, 1986; Celpa, 1990; DGF, 1991; Celpa, 1995; Celpa, 1996). A fracção de papel e cartão enviada para as restantes opções de destino final foi estabelecida com base em dados estatísticos e estudos realizados para o sector dos RSU (Quercus, 1995; INR, 1997; INR, 2000; Ferreira *et al.*, 2004). Na Tabela F.1 do Anexo F

são apresentadas as fracções de papel e cartão enviadas para cada uma das alternativas de destino final e é efectuada uma descrição mais pormenorizada do modo como foram obtidas.

O procedimento utilizado para a obtenção da fracção de produtos de madeira sólida enviada para aterro diferiu do usado para o papel e cartão, pelo facto de a maioria dos produtos de madeira sólida descartados não ser integrada nos sistemas de gestão de RSU nem reciclada, mas antes queimada domesticamente ou mesmo abandonada como entulho. A escassa informação existente nesta matéria aponta para que cerca de 85% das paletes de madeira e 94% das restantes embalagens de madeira estejam nesta situação (Embar, 2004). Assim, a fracção de produtos de madeira sólida enviada para aterro foi obtida considerando que 5% desses produtos são integrados em sistemas de gestão de RSU e que possuem o mesmo destino final, e nas mesmas proporções, que os RSU. Esta percentagem é um valor aproximado dos valores obtidos para o período de 1961 a 2000 (variam entre 1 e 10%), tendo sido calculados com base na quantidade de madeira nos RSU (varia tipicamente entre 0,3 e 0,7% (INR, 2000; Lipor, 2000)), nos quantitativos de RSU produzidos anualmente (Ferreira *et al.*, 2004) e nas quantidades de produtos de madeira sólida descartados após o uso estimadas com o método de 2º nível do GPG LULUCF. Os valores considerados no presente estudo para a fracção de produtos de madeira sólida enviada para aterro são da mesma ordem de grandeza do valor reportado para a fracção de paletes de madeira depositada em aterro nos anos 2001 e 2002, ou seja, 0,02 (Embar, 2004). Na Tabela F.2 do Anexo F são apresentadas as fracções de produtos de madeira sólida enviadas para aterro sanitário e lixeira separadamente.

Para os produtos de madeira sólida e para o papel e cartão consumidos noutros países foram adoptados os valores da fracção de produtos de madeira sólida e de papel e cartão enviada para aterro estimados para Portugal (ou seja, $FPPNA_{ti}$ é igual a $FPCA_{ti}$).

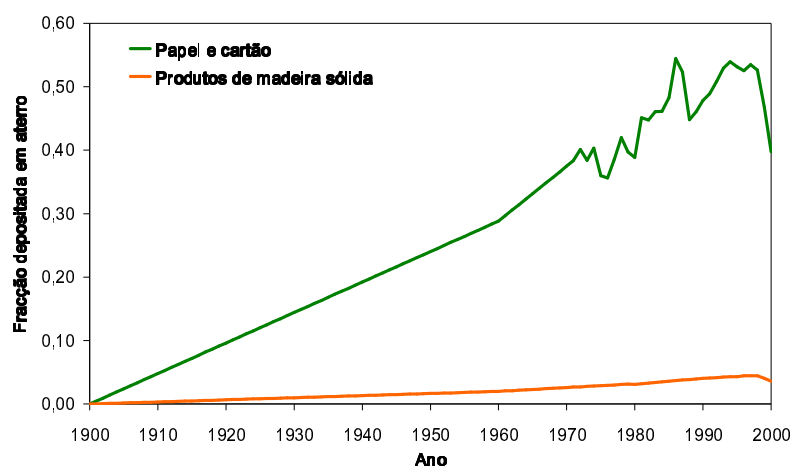


Figura 6.6 - Fracção de produtos de madeira sólida e de papel e cartão que depois de usados são depositados em aterro (aterro sanitário + lixeira) em Portugal, no período de 1900 a 2000.

A Figura 6.7 apresenta os valores respeitantes à fracção de produtos de madeira sólida e de papel e cartão sujeitos a condições anaeróbias, quando depositados em aterro em Portugal (FCA_{ti}), para o período de 1900 a 2000. Estes valores foram obtidos considerando que nos aterros sanitários a decomposição é totalmente anaeróbia e que nas lixeiras apenas 60% da decomposição ocorre em condições anaeróbias, tal como sugerem as *IPCC Guidelines*. Estes valores foram também adoptados para os produtos florestais consumidos noutros países (ou seja, $FPNA_{ti}$ é igual a FCA_{ti}).

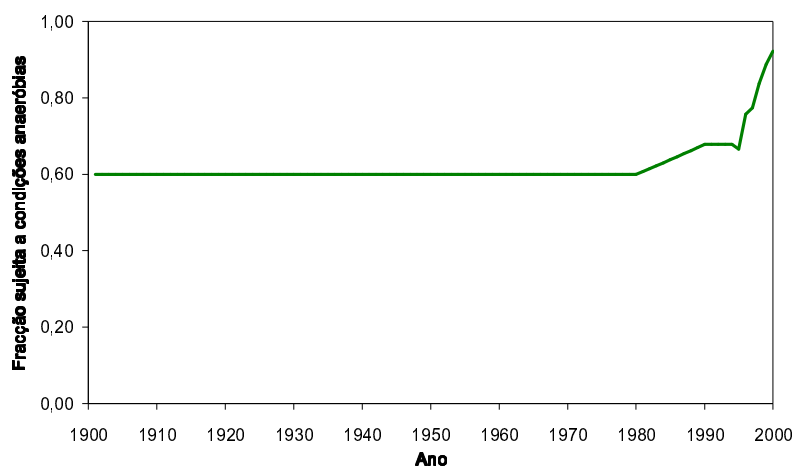


Figura 6.7 - Fracção de produtos de madeira sólida e de papel e cartão sujeitos a condições anaeróbias, quando depositados em aterro (aterro sanitário + lixeira), em Portugal.

6.2.3. Método B de 3º nível do GPG LULUCF

6.2.3.1. *Stock-change approach*

Para a *stock-change approach*, a remoção de carbono associada aos produtos florestais foi determinada usando o algoritmo de cálculo descrito para o método de 2º nível do GPG LULUCF, pelo que as Equações 6.15 a 6.26 são válidas também neste método. Contudo, há a registar algumas diferenças relativamente ao método de 2º nível do GPG LULUCF no que se refere aos produtos florestais abrangidos e ao seu nível de desagregação. Quanto ao primeiro aspecto, aos produtos florestais considerados no método de 2º nível do GPG LULUCF foi acrescentada a outra madeira industrial (também incluída no método de Winjum *et al.* (1998)). Quanto ao segundo aspecto, face às diferenças existentes para os valores de massa volúmica e de fracção de carbono entre os diversos produtos de madeira sólida, houve a necessidade de os considerar separadamente. Por outro lado, foi também efectuada uma diferenciação dentro do papel e cartão,

na medida em que o tempo de vida médio do papel de impressão e escrita é superior ao do restante papel e cartão (que inclui papel de jornal e outro papel e cartão, cujas definições são apresentadas no Anexo D). Assim, na aplicação da Equação 6.15 a este método:

i = madeira serrada (quando os dados estatísticos permitiram foi dividida em madeira serrada de resinosas e de folhosas), folhas de madeira, contraplacados, painéis de partículas, painéis de fibras duros, painéis de fibras MDF, painéis de fibras isolantes, outra madeira industrial (quando os dados estatísticos permitiram foi dividida em madeira de resinosas e de folhosas), papel de impressão e escrita e restante papel e cartão.

6.2.3.2. *Atmospheric-flow approach*

A remoção de carbono associada aos produtos florestais dada pela *atmospheric-flow approach* foi calculada do mesmo modo que no método de 2º nível do GPG LULUCF, mas incluindo adicionalmente a exportação líquida de produtos finais de madeira e de papel e cartão (Equação 6.44).

$$R_{AFA_t} = R_{SCA_t} + ELMI_t + ELMQ_t + \sum_i ELP_{ti} + \sum_j ELO_{tj} + \sum_k ELPF_{tk} \quad \text{Equação 6.44}$$

onde,

$ELPF_{tk}$ = carbono associado à exportação líquida do produto final k, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

k = obras de madeira e obras de papel e cartão.

No cálculo da exportação líquida das obras de papel e cartão foram excluídas as obras produzidas a partir de outras fibras que não a madeira (Equação 6.45).

$$ELPK_{tk} = (EPF_{tk} - IPF_{tk}) \times FPMC_t \quad \text{Equação 6.45}$$

para k = obras de papel e cartão

onde,

EPF_{tj} = carbono associado à exportação do produto final k, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

IPF_{tj} = carbono associado à importação do produto final k, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

6.2.3.3. *Production approach*

O cálculo da remoção de carbono associada aos produtos florestais pela *production approach* foi efectuado como no método de 2º nível do GPG LULUCF. No entanto, na determinação do fluxo de carbono associado ao papel e cartão produzido a partir de madeira nacional, apesar de ter sido

adoptada a mesma filosofia, houve a necessidade de efectuar uma alocação dos fluxos de carbono associados ao comércio internacional das matérias-primas do papel pelas duas categorias distintas de papel e cartão definidas. Nesse sentido, foi considerado que a pasta de resinosas ao sulfato branqueada importada é usada na produção de papel de impressão e escrita (tal como sucede actualmente) e que as restantes matérias-primas importadas, designadamente, a restante pasta de madeira, a pasta de fibra recuperada e o papel recuperado, são integradas na produção do restante papel e cartão. Quanto às matérias-primas exportadas, foram alocadas pelas duas categorias de papel e cartão proporcionalmente às suas produções. Assim, o fluxo de carbono associado ao papel de impressão e escrita e ao restante papel e cartão, produzidos a partir de madeira nacional, foi calculado a partir das Equações 6.46 e 6.47, respectivamente.

$$PPNIE_t = \left(\left(PPIE_t + (EPR_t + EPFR_t) \times \frac{PPIE_t}{(PPIE_t + PRP_t)} \right) \times FPMC_t + EPM_t \times \frac{PPIE_t}{(PPIE_t + PRP_t)} - IPMR_{SB_t} \right) \times \frac{PMI_t}{(PMI_t + IMI_t - EMI_t)}$$

Equação 6.46

onde,

$PPNIE_t$ = carbono associado à produção, a partir de madeira nacional, de papel de impressão e escrita, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

$PPIE_t$ = carbono associado à produção de papel de impressão e escrita, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

PRP_t = carbono associado à produção do restante papel e cartão, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

$IPMR_{SB_t}$ = carbono associado à importação de pasta de madeira de resinosas ao sulfato branqueada, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

$$PRPN_t = \left(\left(PRP_t + (EPR_t + EPFR_t) \times \frac{PRP_t}{(PPIE_t + PRP_t)} - IPR_t - IPFR_t \right) \times FPMC_t + EPM_t \times \frac{PRP_t}{(PPIE_t + PRP_t)} - IPMO_t \right) \times \frac{PMI_t}{(PMI_t + IMI_t - EMI_t)}$$

Equação 6.47

onde,

$PRPN_t$ = carbono associado à produção, a partir de madeira nacional, do restante papel e cartão, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

$IPMO_t$ = carbono associado à importação de outra pasta de madeira, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

6.2.3.4. Dados de entrada

Os dados estatísticos de produção, importação e exportação dos materiais considerados nos cálculos efectuados no âmbito deste método foram seleccionados de entre os dados disponibilizados por várias fontes. Nesse sentido, foi adoptado o seguinte procedimento:

1. identificação das fontes de dados estatísticos;
2. recolha dos dados estatísticos;

3. conversão para unidades comuns;
4. comparação dos dados estatísticos das várias fontes;
5. selecção dos “melhores” dados disponíveis.

As fontes de dados estatísticos identificadas foram:

- a FAO, que sistematiza, na *FAOSTAT Forestry Data*, dados estatísticos de produção, importação e exportação de diversos materiais com origem na biomassa florestal (e também noutras fibras), a partir do ano 1961;
- a UNECE, que providencia, na *Timber Database* (UNECE, 2004), dados estatísticos de produção, importação e exportação dos mesmos materiais abrangidos pela base de dados da FAO, mas apenas para os países membros e a partir do ano 1964;
- o Instituto Nacional de Estatística (INE), a autoridade nacional com competências no domínio das estatísticas. Este organismo publica anualmente dados de produção das várias indústrias florestais a partir do ano 1943, na série designada por “Estatística Industrial”, bem como dados de importação e de exportação de materiais com origem na biomassa florestal a partir do ano 1889, na série denominada de “Comércio Externo”;
- o Instituto dos Produtos Florestais (IPF), a DGF e o IF¹², as autoridades nacionais com competências no domínio das florestas e dos produtos florestais. Estes organismos disponibilizam dados de produção, importação e exportação de vários materiais com origem na biomassa florestal com uma cobertura temporal variável consoante o material, embora apenas alguns destes dados estejam publicados (Sampaio e Mello, 1975; Saraiva e Martins, 1975; Pedroso, 1977; Pastor, 1978; Santos e Falcão, 1980; Costa e Mendes, 1981; IPF, 1981; Soares e Saraiva, 1981; Melo e Pastor, 1982a; Melo e Pastor, 1982b; IPF, 1983; IPF, 1984; Soares, 1984; Pinto e Soares, 1985; Pedroso, 1987; DGF, 1991);
- a Acel e a Celpa¹³, associações nacionais de produtores de pasta e de papel, que publicam anualmente no “Boletim Estatístico da Indústria Papeleira Portuguesa” dados de produção, importação e exportação de pasta de madeira e de papel e cartão. A cobertura temporal destes dados depende do material, sendo que os dados mais remotos dizem respeito à importação e exportação de pasta no ano de 1974.

De cada uma das fontes acima mencionadas foram recolhidos os dados relativos aos materiais considerados no âmbito deste método, tendo sido adoptada a classificação de produtos florestais da FAO (apresentada no Anexo D). Contudo, apesar dos dados da UNECE, do IPF/DGF/IF e da

¹² O IPF foi criado em 1973 e extinto em 1988, a DGF foi criada em 1982 e extinta em 1993, tendo sido novamente criada em 1996 e extinta em 2003 e o IF foi criado em 1993 e extinto em 1996.

¹³ A Celpa resultou da fusão entre a Acel e a Fapel em 1993.

Acel/Celpa estarem organizados em categorias semelhantes às da classificação da FAO, nada garante que incluam os mesmos materiais por categoria (Wardle *et al.*, 2003).

Por seu lado, os dados de comércio internacional do INE obedecem a diferentes nomenclaturas ao longo do tempo, pelo que foram estabelecidas equivalências entre as posições pautais de cada nomenclatura e a classificação dos produtos adoptada (ver no Anexo G). Para os dados de produção do INE a partir do ano 1992 foram também definidas as equivalências entre as posições pautais da nomenclatura a que obedecem e a classificação dos produtos adoptada (ver no Anexo G). No período anterior a 1992, os dados de produção do INE não obedecem a nenhuma nomenclatura especial, sendo fornecidos em categorias compatíveis com as da classificação adoptada (embora em alguns casos com níveis de desagregação diferentes).

Para os produtos finais de madeira e de papel e cartão, não contemplados pela classificação da FAO, apenas o INE disponibiliza dados de importação e de exportação. Também neste caso foi necessário estabelecer equivalências entre as sucessivas nomenclaturas adoptadas para o comércio internacional e as categorias de produtos finais consideradas (ver no Anexo H).

Os dados da FAO, da UNECE, do IPF/DGF/IF e da Acel/Celpa são expressos em unidades de volume no caso da madeira em bruto, produtos de madeira sólida, aparas e partículas e resíduos de madeira, e em unidades de massa no caso da pasta e do papel e cartão. Os dados de comércio internacional do INE são todos expressos em unidades de massa, pelo que houve necessidade de efectuar a devida conversão para unidades de volume, usando os valores de massa volúmica constantes da Tabela I.1 do Anexo I. Alguns dados de produção do INE também são reportados em unidades distintas das usadas pelas restantes fontes, tendo a conversão sido efectuada usando os factores de conversão da Tabela I.2 do Anexo I.

No Anexo J os dados estatísticos das várias fontes são comparados graficamente e são indicados os “melhores” dados disponíveis, cuja selecção foi baseada nos seguintes critérios: abrangência, consistência e transparência. É importante referir que a consistência dos dados seleccionados para cada material (que podem ter origem em fontes distintas) foi avaliada verificando se o consumo calculado apresentava valores lógicos.

Para o período não abrangido por dados estatísticos, CP_{ti} foi estimado a partir do valor deste parâmetro no primeiro ano coberto simultaneamente por dados estatísticos de produção, importação e exportação (Tabela 6.11), e considerando que teve um crescimento exponencial (Equação 6.48). O mesmo procedimento foi aplicado para determinar PPN_{ti} para o período anterior a 1961 (primeiro ano em que existem dados estatísticos da madeira industrial em bruto).

$$F_t = F_{t_0} \times e^{\left(\frac{r}{100} \times (t - t_0)\right)} \quad \text{Equação 6.48}$$

onde,

F_t = fluxo (CP_{ti} ou PPN_{ti}) no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

t_0 = no cálculo de CP_{ti} é primeiro ano coberto simultaneamente por dados estatísticos de produção, importação e exportação e no cálculo de PPN_{ti} é 1961;

r = taxa de crescimento anual do fluxo (CP_{ti} ou PPN_{ti}) antes do ano t_0 ($\%\ ano^{-1}$).

Os valores adoptados para a taxa de crescimento anual de CP_{ti} e de PPN_{ti} são apresentados na Tabela 6.11. Para a madeira serrada, estes valores foram estimados, respectivamente, a partir do crescimento verificado de 1961 a 1973 para o consumo de madeira serrada e para a produção de madeira industrial em bruto para serrar e folhear. Para o papel e cartão, os valores da taxa de crescimento anual de CP_{ti} e de PPN_{ti} foram obtidos, respectivamente, a partir do crescimento verificado no período abrangido por estatísticas para o consumo de papel e cartão e para a produção de madeira industrial em bruto para triturar. Para a outra madeira industrial foi adoptado o valor médio sugerido no GPG LULUCF para a Europa, já que os dados existentes não apresentam uma tendência de crescimento. Para os diferentes tipos de painéis foi considerado que CP_{ti} e PPN_{ti} eram nulos antes de t_0 .

Tabela 6.11 - Valores dos parâmetros necessários para o cálculo de CP_{ti} e de PPN_{ti} para o período não abrangido por dados estatísticos.

Produto florestal	Primeiro ano coberto simultaneamente por dados estatísticos de produção, importação e exportação	Taxa de crescimento anual de CP_{ti} ($\%\ ano^{-1}$)	Taxa de crescimento anual de PPN_{ti} ($\%\ ano^{-1}$)
Madeira serrada	1961	3,7	3,7
Folhas de madeira	1945	-	-
Contraplacados	1943	-	-
Painéis de partículas	1960	-	-
Painéis de fibras duros	1961	-	-
Painéis de fibras MDF	1964	-	-
Painéis de fibras isolantes	1961	-	-
Outra madeira industrial	1961	1,6	1,6
Papel e cartão	1943	6,7	8,0

A conversão dos volumes de madeira sólida (madeira em bruto na *production approach*, aparas e partículas, resíduos de madeira e produtos de madeira sólida incluindo as obras) para massa de carbono foi efectuada por aplicação da Equação 6.42. A conversão da massa de pasta de

madeira, pasta de outras fibras, pasta de fibra reciclada, papel recuperado e papel e cartão para massa de carbono seguiu a Equação 6.43. Os valores de MV_M e de TS_P utilizados na aplicação destas equações são apresentados na Tabela 6.12 e os valores de C_M e C_P na Tabela 6.13.

Tabela 6.12 - Valores para o factor de conversão para massa seca (massa volúmica no caso da madeira sólida, e teor de sólidos no caso da pasta e papel) usados no método B de 3º nível do GPG LULUCF.

Material	Factor de conversão para massa seca (madeira sólida: Mg seco m⁻³ ; pasta e papel: kg seco kg⁻¹)	Fonte
Madeira em bruto de resinosas	0,45	Melo e Pastor (1982a) e Fonseca (1989)
Madeira em bruto de folhosas	0,55	Melo e Pastor (1982a), Goes (1991), Valente <i>et al.</i> (1992) e Jorge (1999)
Madeira em bruto agregada	0,50	Média dos valores das resinosas e folhosas
Outra madeira industrial de resinosas	0,45	Igual à madeira em bruto
Outra madeira industrial de folhosas	0,55	Igual à madeira em bruto
Outra madeira industrial agregada	0,50	Igual à madeira em bruto
Aparas e partículas	0,50	Igual à madeira em bruto
Resíduos de madeira	0,50	Igual à madeira em bruto
Madeira serrada de resinosas	0,45	Igual à madeira em bruto
Madeira serrada de folhosas	0,55	Igual à madeira em bruto
Madeira serrada agregada	0,50	Igual à madeira em bruto
Folhas de madeira	0,50	Igual à madeira em bruto
Contraplacados	0,50	Igual à madeira em bruto
Painéis de partículas	0,63	Indústria
Painéis de fibras duros	0,89	Indústria
Painéis de fibras MDF	0,70	Indústria
Painéis de fibras isolantes	0,24	Indústria
Pasta de madeira	0,90	Indústria
Pasta de outras fibras	0,90	Indústria
Pasta de fibra recuperada	0,90	Indústria
Papel recuperado	0,92	Indústria
Papel e cartão	0,92	Indústria
Obras de madeira	0,50	Igual à madeira em bruto
Obras de papel e cartão	0,92	Indústria

Tabela 6.13 - Valores para a fracção de carbono usados no método B de 3º nível do GPG LULUCF.

Material	Fracção de carbono na matéria seca	Fonte
Madeira em bruto	0,50	Winjum <i>et al.</i> (1998) e IPCC (2003)
Outra madeira industrial	0,50	Winjum <i>et al.</i> (1998) e IPCC (2003)
Aparas e partículas	0,50	Winjum <i>et al.</i> (1998) e IPCC (2003)
Resíduos de madeira	0,50	Winjum <i>et al.</i> (1998) e IPCC (2003)
Madeira serrada	0,50	Winjum <i>et al.</i> (1998) e IPCC (2003)
Folhas de madeira	0,50	Winjum <i>et al.</i> (1998) e IPCC (2003)
Contraplacados	0,44	Indústria
Painéis de partículas	0,44	Indústria
Painéis de fibras	0,40	Indústria
Pasta de madeira	0,40	Valor estimado a partir da sua composição química (Rydholm, 1965; Sjöström, 1981)
Pasta de outras fibras	0,40	Igual à pasta de madeira
Pasta de fibra recuperada	0,40	Igual à pasta de madeira
Papel recuperado	0,34	Indústria
Papel e cartão	0,34	Indústria
Obras de madeira	0,50	Winjum <i>et al.</i> (1998) e IPCC (2003)
Obras de papel e cartão	0,34	Indústria

No cálculo da massa de carbono associada à importação e exportação de madeira em bruto na *atmospheric flow approach* (ELMI_t e ELMQ_t) foi utilizada a Equação 6.49, considerando que parte da madeira em bruto é comercializada com casca, tendo sido considerado que 50% da madeira importada e exportada possui casca.

$$F_{MB} = V_{MB} \times MV_{MB} \times C_{MB} \times \left((1 - FMC_{MB}) + FMC_{MB} \times \left(1 + \frac{FCT_{MB}}{1 - FCT_{MB}} \right) \right) \times 10^{-3} \quad \text{Equação 6.49}$$

onde,

F_{MB} = fluxo (importação ou exportação) anual de carbono na madeira em bruto (Gg C ano⁻¹);

V_{MB} = volume anual de madeira em bruto importado ou exportado (m³ ano⁻¹);

MV_{MB} = massa volúmica da madeira em bruto (Mg seco m⁻³);

C_{MB} = fracção de carbono presente na madeira em bruto seca;

FMC_{MB} = fracção de madeira em bruto importada ou exportada com casca;

FCT_{MB} = fracção mássica de casca presente na madeira em bruto (expressa relativamente ao tronco).

Os valores adoptados para a fracção mássica de casca (expressa em relação ao tronco) na madeira exportada foram de 0,10 para as resinosas (tipicamente pinheiro bravo) (DGF, 1991), 0,125 para as folhosas (tipicamente eucalipto) (Goes, 1991; Pereira, 1994) e o valor médio 0,1125 para as folhosas e resinosas em conjunto. Para a madeira importada foram aplicados os mesmos valores da madeira exportada.

A Tabela 6.14 sintetiza os valores utilizados para a taxa de decomposição dos produtos em uso ($TDCU_i$ e $TDPNU_i$) e os correspondentes tempos de vida médios e tempos de semi-vida, estabelecidos com base nas referências bibliográficas indicadas sobre este assunto no Anexo A.

Tabela 6.14 - Valores para a taxa de decomposição dos produtos florestais em uso e respectivos tempos de vida médios e tempos de semi-vida usados no método B de 3º nível do GPG LULUCF.

Produto	Taxa de decomposição dos produtos em uso (ano^{-1})	Tempo de vida médio dos produtos em uso (anos)	Tempo de semi-vida dos produtos em uso (anos)
Produtos de madeira sólida para embalagem	0,50	2	1,4
Produtos de madeira sólida para construção	0,033	30	21
Produtos de madeira sólida para mobiliário	0,050	20	14
Produtos de madeira sólida para outros usos	0,040	25	17
Papel de impressão e escrita	0,10	10	6,9
Restante papel e cartão	1,0	1	0,69

Os produtos de madeira sólida foram repartidos por quatro categorias de longevidade, consoante a tipologia da sua aplicação final: para embalagem, para construção, para mobiliário e para outros usos. Esta última categoria inclui a madeira serrada utilizada em travessas de caminho de ferro e a outra madeira industrial.

Na Tabela 6.15 é apresentada a repartição da madeira serrada (excluindo as travessas de caminho de ferro) e dos painéis de madeira pelas três primeiras categorias acima referidas, tanto para os produtos consumidos em Portugal (valores aplicados na *stock-change approach* e na *atmospheric-flow approach*) como para os produtos produzidos em Portugal a partir de madeira nacional (valores aplicados na *production approach*). Esta estrutura de aplicação final dos produtos foi baseada em informação disponível na literatura e/ou obtida junto da indústria e foi considerada constante ao longo do tempo. Assim, os valores considerados para a madeira serrada consumida são representativos das décadas de 70 e de 80 (IPF, 1983; Pinto e Soares, 1985; Pedroso, 1987) e, segundo informação cedida pela indústria, continuam válidos na actualidade. Os valores adoptados para a madeira serrada produzida a partir de madeira nacional foram obtidos

junto da AIMMP e a informação disponível para as décadas de 70 e de 80 (Pedroso, 1977; Pedroso, 1987) confirma estes valores. Para os contraplacados, os painéis de partículas e os painéis de fibras duros os valores são representativos das décadas de 70 e de 80 (IPF, 1983) e continuam válidos actualmente (informação da indústria). Para as folhas de madeira foi adoptada uma estrutura semelhante à dos contraplacados. Para os painéis de fibras MDF e isolantes os valores utilizados foram fornecidos pela indústria.

Tabela 6.15 - Aplicações da madeira serrada (excluindo as travessas de caminho de ferro) e dos painéis de madeira consideradas no método B de 3º nível do GPG LULUCF.

Produto	Aplicações dos produtos consumidos em Portugal (%)			Aplicações dos produtos produzidos em Portugal a partir de madeira nacional (%)		
	Emb	Const	Mob	Emb	Const	Mob
Madeira serrada de resinosas	5	90	5	45	35	20
Madeira serrada de folhosas	5	70	25	0	100	0
Folhas de madeira	0	25	75	0	25	75
Contraplacados	0	25	75	0	25	75
Painéis de partículas	0	20	80	0	20	80
Painéis de fibras duros	8	52	40	8	52	40
Painéis de fibras MDF	0	5	95	0	5	95
Painéis de fibras isolantes	0	100	0	0	100	0

Emb = embalagem; Const = construção; Mob = mobiliário

Para todos os cálculos associados aos *stocks* de carbono nos produtos depositados em aterro foram usados os mesmos dados de entrada que no método de 2º nível do GPG LULUCF.

6.2.4. Análise de incerteza

As incertezas inerentes aos parâmetros de entrada dos três métodos de cálculo foram combinadas por aplicação do método de Monte Carlo, utilizando o software @Risk (Palisade Corporation, 2004).

Na definição da incerteza associada aos dados de entrada foram utilizados três tipos de FDPs, designadamente a distribuição normal, a distribuição triangular e a distribuição uniforme. A distribuição normal foi usada quando a incerteza em torno do valor usado para o parâmetro em

causa (neste caso é o valor médio) é simétrica, sendo a incerteza expressa pelos limites inferior e superior do intervalo de confiança de 95% da FDP (Equação 3.5). Quando a incerteza é assimétrica foi usada a distribuição triangular, em que a incerteza associada ao valor usado para o parâmetro em causa (neste caso é o valor mais provável) é definida de acordo com as Equações 3.7 e 3.8. Por seu lado, a distribuição uniforme foi adoptada quando todos os valores dentro duma determinada gama possuem igual probabilidade de ocorrência, sendo a incerteza definida em relação ao limite mínimo e ao limite máximo da FDP, tal como no caso da distribuição triangular, com a diferença de que não existe um valor mais provável.

Na aplicação do método de Monte Carlo foram efectuadas 1000 iterações e foi utilizada a amostragem *Latin Hypercube* (ver detalhes no Capítulo 3).

A contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza total associada à remoção de carbono estimada pelos diferentes métodos e abordagens foi determinada de acordo com a Equação 3.9.

Seguidamente são apresentados e justificados os valores de incerteza adoptados para os parâmetros de entrada nos métodos de Winjum *et al.* (1998), de 2º nível do GPG LULUCF e de 3º nível do GPG LULUCF.

6.2.4.1. Método de Winjum *et al.* (1998)

Na Tabela 6.16 são indicados os valores de incerteza adoptados para cada um dos parâmetros de entrada no método de Winjum *et al.* (1998).

Para a incerteza associada aos dados estatísticos de produção, importação e exportação foi considerado o valor de incerteza sugerido no GPG LULUCF para países com recolha sistemática deste tipo de dados estatísticos.

A incerteza associada à massa volúmica da madeira em bruto e dos produtos florestais foi determinada a partir das gamas de variação típicas para os valores desse parâmetro. Desse modo, para a madeira em bruto, foi considerado que a massa volúmica na idade do corte varia entre 0,35 e 0,70 Mg seco m⁻³ para as resinosas e entre 0,40 e 0,80 Mg seco m⁻³ para as folhosas (Reyes *et al.*, 1992; USDA Forest Service, 1999; Castéra *et al.*, 1999; Flugsrud *et al.*, 2001; Eggers, 2002; Sikkema *et al.*, 2002). Para a madeira em bruto agregada, foi considerada uma gama de variação delimitada pelos valores mínimo e máximo das gamas atrás referidas, ou seja, 0,35 e 0,80 Mg seco m⁻³. As gamas de variação da madeira em bruto foram também adoptadas para a madeira serrada e para a outra madeira industrial, negligenciando o aumento expectável na massa volúmica devido à retracção da madeira. Para os painéis de madeira foi considerado que a

massa volúmica varia entre 0,24 e 0,89 Mg seco m⁻³ (dados de entrada do método de 3º nível do GPG LULUCF presentes na Tabela 6.12).

Para a fracção de casca na madeira em bruto de resinosas e de folhosas, a incerteza foi obtida com base nas gamas de variação típicas para pinheiro bravo e eucalipto na idade do corte, respectivamente. Assim, foi considerado que a fracção mássica de casca (expressa relativamente à madeira do tronco) varia entre 0,064 e 0,163 na madeira de pinheiro bravo (valores estimados com base em informação fornecida pela indústria) e entre 0,075 e 0,22 na madeira de eucalipto (valores estimados com base em Goes (1991) e Pereira (1994)). Para a madeira em bruto agregada foi considerado que a fracção de casca varia entre o valor mínimo e o valor máximo das gamas atrás referidas, ou seja, 0,064 e 0,22.

Relativamente à incerteza associada à fracção de carbono, para a madeira em bruto, madeira serrada e outra madeira industrial foi usado o valor sugerido no GPG LULUCF ($\pm 10\%$), que conduz a uma gama de variação dos valores da fracção de carbono plausível, semelhante à reportada por Lamtom e Savidge (2003) para madeira de várias espécies. Para os painéis de madeira foi considerada uma gama de variação da fracção de carbono entre 0,40 e 0,552, em que o valor mínimo corresponde à fracção de carbono típica dos painéis de fibras, e o valor máximo coincide com o valor máximo da gama reportada por Lamtom e Savidge (2003) para madeira e que se considera aplicável aos painéis em que a quantidade de aditivos é negligenciável (folhas). Por seu lado, para o papel e cartão foi considerado um valor máximo para a fracção de carbono igual ao valor *default* (0,50) e um valor mínimo igual a 0,30 (valor fornecido pela indústria).

A incerteza associada à fracção de produtos florestais com tempo de vida longo foi estimada com base nas gamas de variação típicas para o período entre 1961 e 2000. Para a madeira serrada, foi adoptada uma gama de variação entre 0,55 e 0,95, considerando que a fracção com tempo de vida longo inclui toda a madeira com excepção da que se destina a embalagem. Assim, o limite inferior é típico da madeira serrada produzida a partir de madeira nacional e o limite superior é típico da madeira serrada consumida em Portugal (Tabela 6.15). É de salientar que foi desprezada a quantidade de madeira serrada enviada para aterro, por ser pouco expressiva. Para os painéis de madeira foi também considerado que a fracção com tempo de vida curto é a que vai para embalagem. A embalagem não é uma aplicação típica para os painéis, com excepção dos painéis duros (Tabela 6.15), pelo que se adoptou um valor mínimo para a fracção de painéis com tempo de vida longo igual a 0,90, o valor *default* (valor ligeiramente inferior ao valor típico dos painéis duros), e um valor máximo de 1 (desprezando os painéis em aterro). A outra madeira industrial tem, normalmente, tempo de vida longo (Hoen e Solberg, 1994; Jaakko Pöyry Consulting Asia-Pacific, 1999), pelo que se adoptou uma gama de variação para a fracção com tempo de vida longo com um máximo de 1, e um mínimo igual ao valor *default* (0,70). Foi considerado que a fracção de papel e cartão com tempo de vida longo inclui o papel de impressão e escrita

juntamente com o papel e cartão depositados em aterro, em condições anaeróbias. Para o papel e cartão consumido em Portugal no período de 1961 a 2000, esta fracção foi, em média, cerca de 0,5 (o papel de impressão e escrita constituiu 15 a 40% do total de papel e cartão consumido (FAO, 2004) e, do restante papel, 20 a 45% foram para aterro em condições anaeróbias). Para o papel e cartão produzido a partir de madeira nacional no período de 1961 a 2000, a fracção com tempo de vida longo foi, em média, aproximadamente 0,7 (o papel de impressão e escrita constituiu 30 a 75% do total de papel e cartão produzido a partir de madeira nacional e, do restante papel, 20 a 45% foram para aterro em condições anaeróbias). Estes valores foram adoptados para os limites da incerteza associada à fracção de papel e cartão com tempo de vida longo.

A incerteza associada à taxa de decomposição da madeira serrada foi obtida considerando para este parâmetro uma gama de variação que apresenta como mínimo o valor *default* (0,01) e como máximo o valor de 0,033, ao qual corresponde um tempo de vida de 30 anos. Este último valor foi obtido para a madeira serrada produzida a partir de madeira nacional (situação em que a embalagem é mais representativa) e tendo em conta os tempos de vida médios considerados no método de 3º nível do GPG LULUCF¹⁴. A gama de variação considerada para a taxa de decomposição dos painéis de madeira tem como mínimo o valor *default* (0,02) e como máximo o valor de 0,022, ao qual corresponde um tempo de vida de 45 anos. Este último valor foi obtido para os painéis de fibras duros (os únicos aplicados em embalagem) considerando os tempos de vida médios usados no método B de 3º nível do GPG LULUCF. Para a taxa de decomposição da outra madeira industrial foi considerada uma gama de variação cujo valor máximo coincidiu com o valor *default* (0,04) e o valor mínimo coincidiu com o valor de 0,02, ao qual corresponde um tempo de vida de 50 anos (duplo do tempo de vida médio de 25 anos usado no método B de 3º nível do GPG LULUCF). A gama de variação adoptada para a taxa de decomposição do papel e cartão apresenta como valor mínimo o valor *default* (0,01) e como valor máximo o valor de 0,033, correspondente a um tempo de vida de 30 anos. Este último valor foi obtido para o papel e cartão consumido em Portugal (situação em que o papel de impressão e escrita tem menor representatividade no papel e cartão total), considerando os tempos de vida do papel de impressão e escrita e do restante papel e cartão usados no método B de 3º nível do GPG LULUCF, que 55% do papel e cartão depositado em aterro em condições anaeróbias é decomposto durante um período de 40 anos (duplo do tempo de vida médio de 20 anos usado no método B de 3º nível do GPG LULUCF) e que o restante papel e cartão em aterro em condições anaeróbias se decompõe num período de 100 anos (igual ao valor *default*).

¹⁴ É de salientar que, devido aos diferentes perfis de decomposição adoptados nos métodos, o tempo de vida usado no método de Winjum *et al.* (1998) é duplo do tempo de vida médio considerado no método B de 3º nível do GPG LULUCF.

Tabela 6.16 - Incerteza associada aos parâmetros de entrada no método de Winjum *et al.* (1998).

Parâmetro	Tipo de FDP	Incerteza (%)
Dados estatísticos de produção, importação e exportação	Normal	± 15
Massa volúmica da madeira em bruto de resinosas	Triangular	- 12 a + 75
Massa volúmica da madeira em bruto de folhosas	Triangular	- 20 a + 60
Massa volúmica da madeira em bruto agregada	Triangular	- 22 a + 78
Massa volúmica da outra madeira industrial de resinosas	Triangular	- 12 a + 75
Massa volúmica da outra madeira industrial de folhosas	Triangular	- 20 a + 60
Massa volúmica da outra madeira industrial agregada	Triangular	- 22 a + 78
Massa volúmica da madeira serrada de resinosas	Triangular	- 17 a + 67
Massa volúmica da madeira serrada de folhosas	Triangular	- 25 a + 51
Massa volúmica da madeira serrada agregada	Triangular	- 27 a + 67
Massa volúmica dos painéis de madeira	Triangular	- 54 a + 71
Fracção de casca na madeira em bruto de resinosas	Triangular	- 42 a + 48
Fracção de casca na madeira em bruto de folhosas	Triangular	- 42 a + 69
Fracção de casca na madeira em bruto agregada	Triangular	- 47 a + 83
Fracção de carbono na madeira em bruto	Normal	± 10
Fracção de carbono na madeira serrada	Normal	± 10
Fracção de carbono nos painéis de madeira	Triangular	- 20 a + 10
Fracção de carbono na outra madeira industrial	Normal	± 10
Fracção de carbono no papel e cartão	Triangular	- 40 a 0
Fracção de madeira serrada com tempo de vida longo	Triangular	- 31 a + 19
Fracção de painéis de madeira com tempo de vida longo	Triangular	0 a + 11
Fracção de outra madeira industrial com tempo de vida longo	Triangular	0 a + 43
Fracção de papel e cartão com tempo de vida longo	Normal	± 17
Taxa de decomposição da madeira serrada	Triangular	0 a + 230
Taxa de decomposição dos painéis de madeira	Triangular	0 a + 10
Taxa de decomposição da outra madeira industrial	Triangular	- 50 a 0
Taxa de decomposição do papel e cartão	Triangular	0 a + 230

6.2.4.2. Método de 2º nível do GPG LULUCF

A Tabela 6.17 resume os valores de incerteza considerados para cada um dos parâmetros de entrada no método de 2º nível do GPG LULUCF.

Tal como foi referido no método de Winjum *et al.* (1998), para os dados estatísticos de produção, importação e exportação com origem na FAO, foi adoptado o valor de incerteza sugerido pelo GPG LULUCF.

Para a taxa de crescimento anual do fluxo CP_t ou PPN_t antes do ano 1961 foi admitida uma gama de variação entre 0,08 e 0,8. O valor mínimo foi obtido considerando uma incerteza de 50%, como

sugerido pelo GPG LULUCF, e o valor máximo coincide com a taxa estipulada para o papel e cartão produzido a partir de madeira nacional no método B de 3º nível do GPG LULUCF (Tabela 6.11).

Para a massa volúmica dos produtos de madeira sólida, madeira em bruto, aparas e partículas e resíduos de madeira foi considerada uma gama de variação cujos limites coincidem com os valores mínimo e máximo das massas volúmicas típicas destes produtos (0,24 e 0,89 Mg seco m⁻³ - Tabela 6.12). Quanto ao teor de sólidos da pasta e do papel, este varia entre 0,9 e 0,95 (informação fornecida pela indústria).

A gama de variação considerada para a fracção de carbono nos produtos de madeira sólida, madeira em bruto, aparas e partículas e resíduos de madeira foi de 0,40 e 0,552. O valor mínimo corresponde à fracção de carbono típica dos painéis de fibras (Tabela 6.13) e o valor máximo corresponde ao valor máximo da gama reportada por Lamtom e Savidge (2003) para madeira em bruto. Para a pasta e o papel, a fracção de carbono variou entre 0,30 e 0,50 tal como adoptado no método de Winjum *et al.* (1998).

A incerteza associada à taxa de decomposição dos produtos em uso foi obtida seguindo a recomendação do GPG LULUCF, segundo a qual a incerteza nos tempos de semi-vida é de $\pm 50\%$.

Para a taxa de decomposição dos produtos em aterro e a fracção de produtos florestais sujeitos a condições anaeróbias quando depositados em aterro, foram adoptadas as respectivas gamas de incerteza sugeridas no GPGUM NGGI para o sector dos resíduos.

A fracção de carbono que efectivamente se decompõe em aterro, em condições anaeróbias, variou entre 0,03 e 0,77 para os produtos de madeira sólida e entre 0,26 e 0,77 para o papel e cartão, sendo os valores mínimos sugeridos por Skog e Nicholson (1998) e os valores máximos sugeridos nas *IPCC Guidelines*.

Quanto à fracção de produtos de madeira sólida enviada para aterro, foi admitida uma incerteza de $\pm 100\%$ em torno do valor médio, pois os valores utilizados para este parâmetro foram baseados em estimativas grosseiras. O mesmo nível de incerteza, e pelo mesmo motivo, foi considerado para a fracção de produtos de papel e cartão enviada para aterro entre os anos de 1900 e 1969. A incerteza associada à fracção de produtos de papel e cartão enviada para aterro diminuiu para $\pm 50\%$ entre 1970 e 1992 (neste período os valores utilizados para este parâmetro têm alguma base estatística) e para $\pm 30\%$ a partir de 1993 (neste período os valores utilizados para este parâmetro são baseados inteiramente em dados estatísticos; contudo foi considerada uma incerteza dupla da associada aos dados estatísticos de produção, importação e exportação de produtos florestais, porque é feita a suposição de que o papel que não é reciclado segue o mesmo destino que os RSU em geral).

Tabela 6.17 - Incerteza associada aos parâmetros de entrada no método de 2º nível do GPG LULUCF.

Parâmetro	Tipo de FDP	Incerteza (%)
Dados estatísticos de produção, importação e exportação	Normal	± 15
Taxa de crescimento dos fluxos CP_{ti} e PPN_{ti} antes do ano 1961	Triangular	- 50 a + 400
Massa volúmica dos produtos de madeira sólida, da madeira em bruto, das aparas e dos resíduos de madeira	Triangular	- 47 a + 98
Teor de sólidos da pasta e do papel	Triangular	0 a + 6
Fracção de carbono nos produtos de madeira sólida, na madeira em bruto, nas aparas e nos resíduos de madeira	Triangular	- 20 a + 10
Fracção de carbono na pasta e no papel	Triangular	- 40 a 0
Taxa de decomposição dos produtos de madeira sólida em uso	Triangular	- 33 a + 100
Taxa de decomposição do papel e cartão em uso	Triangular	- 33 a + 100
Taxa de decomposição dos produtos de madeira sólida em aterro	Triangular	- 40 a + 300
Taxa de decomposição do papel e cartão em aterro	Triangular	- 40 a + 300
Fracção de carbono, presente nos produtos de madeira sólida, que efectivamente se decompõe em aterro, em condições anaeróbias	Triangular	- 95 a + 40
Fracção de carbono, presente no papel e cartão, que efectivamente se decompõe em aterro, em condições anaeróbias	Triangular	- 53 a + 40
Fracção de produtos de madeira sólida enviada para aterro	Normal	± 100
Fracção de papel e cartão enviada para aterro, de 1900 a 1969	Normal	± 100
Fracção de papel e cartão enviada para aterro, de 1970 a 1992	Normal	± 50
Fracção de papel e cartão enviada para aterro, de 1993 a 2000	Normal	± 30
Fracção de produtos de madeira sólida e de papel e cartão sujeitos a condições anaeróbias, quando depositados em aterros sanitários	Triangular	- 10 a 0
Fracção de produtos de madeira sólida e de papel e cartão sujeitos a condições anaeróbias, quando depositados em lixeiras	Triangular	- 50 a + 60

6.2.4.3. Método B de 3º nível do GPG LULUCF

Os valores de incerteza estabelecidos para cada um dos parâmetros de entrada no método B de 3º nível do GPG LULUCF constam da Tabela 6.18.

Para os dados estatísticos de produção, importação e exportação foi adoptada a incerteza considerada para os dados com origem na FAO.

A taxa de crescimento anual do fluxo CP_{ti} ou PPN_{ti} antes do primeiro ano coberto por estatísticas variou entre 0,08 (valor obtido considerando uma incerteza de 50% relativamente ao valor *default*, tal como sugerido pelo GPG LULUCF) e um valor específico para cada produto, obtido considerando uma incerteza de 50% relativamente aos valores estabelecidos para este parâmetro na Tabela 6.11.

Relativamente à massa volúmica da madeira em bruto nacional, foi considerado que na idade do corte varia entre 0,38 e 0,53 Mg seco m⁻³ para as resinosas (Fonseca, 1989; Castéra *et al.*, 1999)

e entre 0,47 e 0,65 Mg seco m⁻³ para as folhosas (Valente *et al.*, 1992), valores típicos para a madeira portuguesa de pinheiro bravo e de eucalipto, respectivamente. Para a madeira em bruto importada foi considerado que a massa volúmica na idade do corte varia entre 0,35 e 0,70 Mg seco m⁻³ para as resinosas e entre 0,40 e 0,80 Mg seco m⁻³ para as folhosas (Reyes *et al.*, 1992; Castéra *et al.*, 1999; USDA Forest Service, 1999; Flugsrud *et al.*, 2001; Eggers, 2002; Sikkema *et al.*, 2002). Para a madeira em bruto agregada foi adoptada uma gama de variação delimitada pelos valores mínimo e máximo das gamas atrás referidas. As gamas de variação da madeira em bruto nacional e importada foram adoptadas para a madeira serrada, a outra madeira industrial e as obras de madeira, não considerando o aumento expectável na massa volúmica decorrente da retracção da madeira e, no caso das obras de madeira, a presença de painéis de madeira para além de madeira serrada. Para as aparas e partículas, resíduos de madeira, folhas de madeira e contraplacados foi usada a mesma gama da madeira em bruto agregada importada, por ser mais vasta do que a da madeira nacional. Para os painéis de partículas e de fibras foi considerada uma incerteza na massa volúmica de $\pm 15\%$ em torno do valor médio, tal como recomendado no GPG LULUCF e confirmado pelos valores fornecidos pela indústria.

A incerteza considerada para o teor de sólidos na pasta e no papel e cartão foi estabelecida com base em informação fornecida pela indústria.

Para a fracção mássica de casca (expressa relativamente ao tronco) na madeira em bruto foi admitida uma gama de variação entre 0,06 e 0,14 para as resinosas (valores fornecidos pela indústria) e entre 0,07 e 0,18 para as folhosas (Goes, 1991; Pereira, 1994). Estes valores são típicos da madeira de pinheiro bravo e de eucalipto, respectivamente, na idade do corte, e foram considerados válidos também para a madeira importada. Para a madeira em bruto agregada foi admitido que a fracção de casca varia entre o valor mínimo e o valor máximo das gamas atrás referidas. Relativamente à fracção de madeira em bruto comercializada com casca foi adoptada a gama total de variação.

A incerteza considerada para a fracção de carbono presente no papel recuperado, papel e cartão e obras de papel e cartão foi estabelecida em conformidade com a informação disponibilizada pela indústria. Para a fracção de carbono nos restantes materiais foi admitida a incerteza sugerida no GPG LULUCF.

A incerteza associada à taxa de decomposição dos produtos em uso foi estimada considerando que a incerteza nos tempos de semi-vida é de $\pm 50\%$ (IPCC, 2003).

Na alocação dos produtos florestais pelas diferentes aplicações de uso final, a incerteza foi estabelecida com base na literatura (Pedroso, 1977; IPF, 1983; Pinto e Soares, 1985; Pedroso, 1987) e informação fornecida pela indústria.

Para todos os parâmetros associados ao cálculo dos *stocks* de carbono nos produtos depositados em aterro foram usados os mesmos valores de incerteza do método de 2º nível do GPG LULUCF.

Tabela 6.18 - Incerteza associada aos parâmetros de entrada no método B de 3º nível do GPG LULUCF.

Parâmetro	Tipo de FDP	Incerteza (%)
Dados estatísticos de produção, importação e exportação	Normal	± 15
Taxa de crescimento dos fluxos CP_{it} e PPN_{it} antes do primeiro ano coberto por dados estatísticos, para a madeira serrada	Triangular	- 98 a + 50
Taxa de crescimento dos fluxos CP_{it} e PPN_{it} antes do primeiro ano coberto por dados estatísticos, para a outra madeira industrial	Triangular	- 95 a + 50
Taxa de crescimento do fluxo CP_{it} antes do primeiro ano coberto por dados estatísticos, para o papel e cartão	Triangular	- 99 a + 50
Taxa de crescimento do fluxo PPN_{it} antes do primeiro ano coberto por dados estatísticos, para o papel e cartão	Triangular	- 99 a + 50
Massa volúmica da madeira em bruto, da madeira serrada e da outra madeira industrial de resinosas, nacional	Triangular	- 16 a + 18
Massa volúmica da madeira em bruto, madeira serrada e outra madeira industrial de resinosas, importada	Triangular	- 22 a + 56
Massa volúmica da madeira em bruto, madeira serrada e outra madeira industrial de folhosas, nacional	Triangular	- 15 a + 18
Massa volúmica da madeira em bruto, madeira serrada e outra madeira industrial de folhosas, importada	Triangular	- 27 a + 45
Massa volúmica da madeira em bruto, madeira serrada e outra madeira industrial agregada, nacional	Triangular	- 24 a + 30
Massa volúmica da madeira em bruto, madeira serrada e outra madeira industrial agregada, importada	Triangular	- 30 a + 60
Massa volúmica das aparas e partículas, resíduos de madeira, folhas de madeira e contraplacados	Triangular	- 30 a + 60
Massa volúmica dos painéis de partículas e de fibras	Normal	± 15
Massa volúmica das obras de madeira, nacional	Triangular	- 24 a + 30
Massa volúmica das obras de madeira, importada	Triangular	- 30 a + 60
Teor de sólidos da pasta e do papel	Normal	± 3
Fracção de casca na madeira em bruto de resinosas	Normal	± 40
Fracção de casca na madeira em bruto de folhosas	Normal	± 44
Fracção de casca na madeira em bruto agregada	Triangular	- 47 a + 60
Fracção de madeira em bruto de resinosas comercializada com casca	Uniforme	± 100
Fracção de madeira em bruto de folhosas comercializada com casca	Uniforme	± 100
Fracção de carbono na madeira em bruto, nas aparas e partículas, nos resíduos de madeira e nos produtos de madeira sólida	Normal	± 10
Fracção de carbono na pasta	Normal	± 10
Fracção de carbono no papel	Normal	± 12
% de madeira serrada de resinosas consumida, para embalagem	Triangular	- 80 a + 100
% de madeira serrada de resinosas consumida, para construção	Triangular	- 11 a + 9
% de madeira serrada de resinosas consumida, para mobiliário	Triangular	- 80 a + 100
% de madeira serrada de folhosas consumida, para embalagem	Triangular	- 80 a + 100
% de madeira serrada de folhosas consumida, para construção	Triangular	- 14 a + 13
% de madeira serrada de folhosas consumida, para mobiliário	Normal	± 20

Tabela 6.18 (cont.) - Incerteza associada aos parâmetros de entrada no método B de 3º nível do GPG LULUCF.

Parâmetro	Tipo de FDP	Incerteza (%)
% de madeira serrada de resinosas produzida a partir de madeira nacional, para embalagem	Normal	± 22
% de madeira serrada de resinosas produzida a partir de madeira nacional, para construção	Normal	± 14
% de madeira serrada de resinosas produzida a partir de madeira nacional, para mobiliário	Normal	± 25
% de madeira serrada de folhosas produzida a partir de madeira nacional, para embalagem	Triangular	(*)
% de madeira serrada de folhosas produzida a partir de madeira nacional, para construção	Triangular	- 10 a + 0
% de madeira serrada de folhosas produzida a partir de madeira nacional, para mobiliário	Triangular	(*)
% de folhas de madeira e contraplacados consumidos e produzidos a partir de madeira nacional, para construção	Normal	± 40
% de folhas de madeira e contraplacados consumidos e produzidos a partir de madeira nacional, para mobiliário	Normal	± 13
% de painéis de partículas consumidos e produzidos a partir de madeira nacional, para construção	Normal	± 50
% de painéis de partículas consumidos e produzidos a partir de madeira nacional, para mobiliário	Normal	± 12
% de painéis de fibras duros consumidos e produzidos a partir de madeira nacional, para embalagem	Triangular	- 38 a + 25
% de painéis de fibras duros consumidos e produzidos a partir de madeira nacional, para construção	Triangular	- 23 a + 25
% de painéis de fibras duros consumidos e produzidos a partir de madeira nacional, para mobiliário	Normal	± 25
% de painéis de fibras MDF consumidos e produzidos a partir de madeira nacional, para construção	Triangular	- 80 a + 100
% de painéis de fibras MDF consumidos e produzidos a partir de madeira nacional, para mobiliário	Triangular	- 5 a + 4
Taxa de decomposição dos produtos em uso	Triangular	- 33 a + 100
Taxa de decomposição dos produtos em aterro	Triangular	- 40 a + 300
Fracção de carbono, presente nos produtos de madeira sólida, que efectivamente se decompõe em aterro, em condições anaeróbias	Triangular	- 95 a + 40
Fracção de carbono, presente no papel e cartão, que efectivamente se decompõe em aterro, em condições anaeróbias	Triangular	- 53 a + 40
Fracção de produtos de madeira sólida enviada para aterro	Normal	± 100
Fracção de papel e cartão enviada para aterro, de 1900 a 1969	Normal	± 100
Fracção de papel e cartão enviada para aterro, de 1970 a 1992	Normal	± 50
Fracção de papel e cartão enviada para aterro, de 1993 a 2000	Normal	± 30
Fracção de produtos de madeira sólida e de papel e cartão sujeitos a condições anaeróbias, quando depositados em aterro sanitário	Triangular	- 10 a 0
Fracção de produtos de madeira sólida e de papel e cartão sujeitos a condições anaeróbias, quando depositados em lixeira	Triangular	- 50 a + 60

(*) Foi considerado que a percentagem de madeira serrada de folhosas produzida a partir de madeira nacional aplicada em embalagem e mobiliário varia entre 0 e 5%.

6.2.5. Análise de sensibilidade

Na análise de sensibilidade foram avaliados os efeitos na remoção de carbono pelos produtos florestais induzidos por alterações efectuadas aos seguintes níveis:

- exclusão do papel produzido a partir de outras fibras vegetais que não a madeira, no método de Winjum *et al.* (1998);
- na fonte dos dados estatísticos de produção e de comércio internacional;
- no tipo de FDP na análise de incerteza.

6.2.5.1. Influência do papel produzido a partir de outras fibras no método de Winjum *et al.* (1998)

O método proposto por Winjum *et al.* (1998) considera a acumulação de carbono no papel produzido a partir de outras fibras vegetais que não a madeira, o que não acontece nos outros dois métodos. Neste ponto da análise de sensibilidade foi analisado o cenário em que esse papel é excluído. Assim, os cálculos foram efectuados do modo descrito no ponto 6.2.1, excepto nos casos que a seguir se apresentam.

Na *stock-change approach*, CPL_{ti} para o papel e cartão foi calculado pela Equação 6.50 (em vez da Equação 6.3).

$$CPL_{ti} = (PP_{ti} + IP_{ti} - EP_{ti}) \times FLC_i \times FPMC_t \quad \text{Equação 6.50}$$

para i = papel e cartão

Na *atmospheric-flow approach*, ELP_{ti} para o papel e cartão foi calculado como na Equação 6.28.

Na *production approach*, o cálculo de $PPNL_{ti}$ para o papel e cartão foi efectuado a partir da Equação 6.51 (em substituição da Equação 6.8).

$$PPNL_{ti} = ((PP_{ti} + EPR_t - IPR_t + EPFR_t - IPFR_t) \times FPMC_t + EPM_t - IPM_t) \times FLPN_{ti} \times \frac{PMI_t}{(PMI_t + IMI_t - EMI_t)} \quad \text{Equação 6.51}$$

para i = papel e cartão

6.2.5.2. Influência da fonte dos dados estatísticos de produção e de comércio internacional

Neste ponto da análise de sensibilidade, os dados estatísticos de produção, importação e exportação da FAO foram substituídos pelos “melhores” dados disponíveis nos métodos de Winjum *et al.* (1998) e de 2º nível do GPG LULUCF. Por sua vez, no método B de 3º nível do GPG LULUCF foi analisada a situação inversa.

6.2.5.3. Influência do tipo de FDP na análise de incerteza

O objectivo deste ponto da análise de sensibilidade consistiu na avaliação da influência da forma das FDPs, mantendo o mesmo nível de incerteza. Nesse sentido, as distribuições triangulares nos três métodos foram substituídas por distribuições uniformes, passando todos os valores compreendidos entre os valores máximo e mínimo a ter igual probabilidade de ocorrência.

6.3. Resultados

Os resultados obtidos com a aplicação dos métodos de Winjum *et al.* (1998), de 2º nível do GPG LULUCF e de 3º nível do GPG LULUCF são seguidamente apresentados para o período entre 1990 e 2000. Alguns dos resultados são apresentados graficamente no Anexo L para períodos mais alargados, nomeadamente, de 1961 a 2000 para o método de Winjum *et al.* (1998) e de 1900 a 2000 para os métodos de 2º e de 3º nível do GPG LULUCF. A incerteza associada aos resultados está representada graficamente sob a forma de barras de erro que traduzem o intervalo de confiança de 95% das FDPs resultantes da combinação das incertezas associadas aos parâmetros de entrada.

6.3.1. Método de Winjum *et al.* (1998)

A utilização do método de Winjum *et al.* (1998) quando aplicado às três abordagens conduziu a resultados que indicam que houve remoção de carbono associada aos produtos florestais ao longo do período de 1990 a 2000, independentemente da abordagem considerada (Figura 6.8).

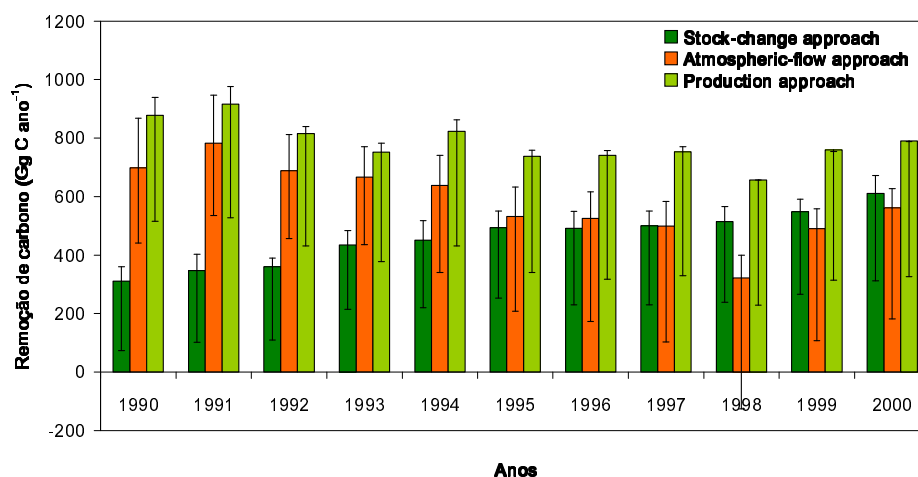


Figura 6.8 - Remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, utilizando o método de Winjum *et al.* (1998), de acordo com a *stock-change approach*, a *atmospheric-flow approach* e a *production approach*.

A remoção de carbono estimada com a *stock-change approach* apresentou uma tendência de crescimento ao longo do período em análise, sendo de 310 Gg C ano⁻¹, no ano 1990, e de 611 Gg C ano⁻¹, no ano 2000 (Figura 6.8). Esta tendência acompanha a tendência geral de evolução do consumo total de produtos florestais em Portugal (Figura 6.9).

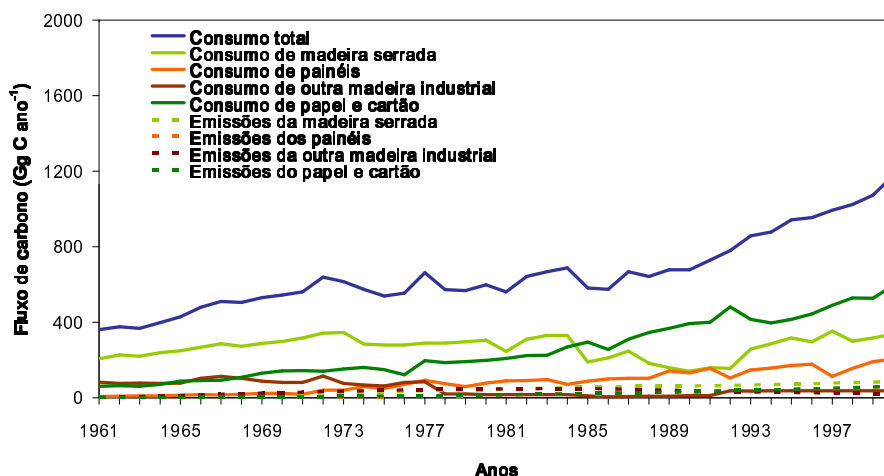


Figura 6.9 - Fluxos de entrada e de saída dos reservatórios de produtos florestais em uso e em aterro no período 1961-2000, considerados no método de Winjum *et al.* (1998), de acordo com a *stock-change approach*.

A contribuição de cada produto para a remoção de carbono obtida com *stock-change approach* é apresentada na Figura 6.10. A maior contribuição em todo o período analisado foi a do papel e

cartão, tendo variado entre 41 e 67% da remoção total de carbono. Esta importante contribuição deve-se ao facto de o papel e cartão ter sido o produto mais consumido no período em análise (Figura 6.9). Além disso, o seu consumo aumentou exponencialmente desde 1961, pelo que as emissões resultantes da decomposição ou queima de papel e cartão consumido em anos anteriores foram pequenas.

Com excepção do período de 1990 a 1992, a madeira serrada apresentou a segunda maior contribuição para a remoção de carbono obtida com esta abordagem, variando entre 13 e 41% da remoção total de carbono. Esta contribuição resulta da importância relativa que o consumo de madeira serrada assume no período em análise (foi o segundo mais importante a partir de 1992, como se constata na Figura 6.9), apesar de as emissões resultantes da decomposição ou queima de madeira serrada consumida em anos anteriores serem elevadas. Contudo, estas emissões devem estar subestimadas, já que os dados de consumo de madeira serrada disponíveis não permitem o seu cálculo para a totalidade do período correspondente ao tempo de vida da madeira serrada e, segundo os dados de 1961, é de esperar que nos anos anteriores o consumo de madeira serrada fosse elevado.

A contribuição dos painéis de madeira variou entre 10 e 27% da remoção total de carbono, enquanto a outra madeira industrial apresentou uma contribuição para a remoção de carbono muito pequena (1% do total, no máximo) entre 1997 e 2000, e antes deste período foi uma fonte de emissão de carbono.

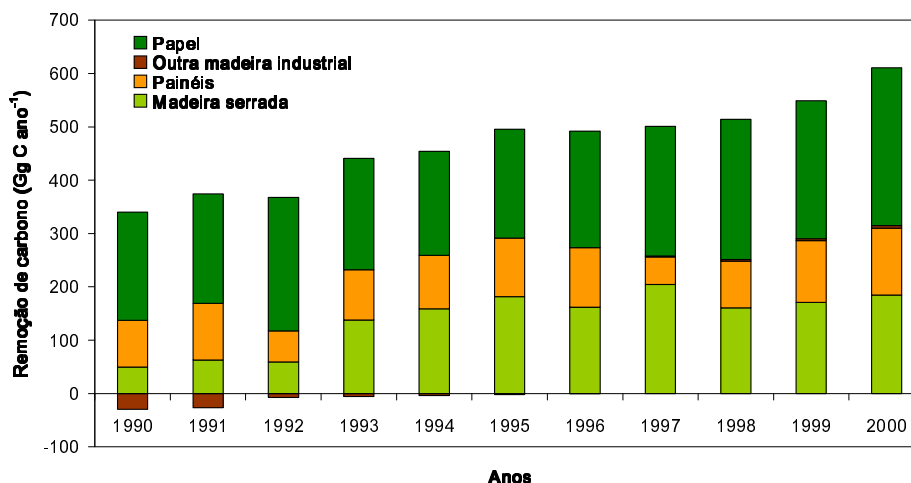


Figura 6.10 - Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, utilizando o método de Winjum *et al.* (1998), de acordo com a *stock-change approach*.

A remoção de carbono obtida com a *atmospheric-flow approach* variou entre 322 e 783 Gg C ano⁻¹ no período em análise, não apresentando uma tendência de evolução geral válida para todo o

período (Figura 6.8), já que depende não só da variação dos *stocks* dos produtos florestais consumidos mas também da exportação líquida de madeira em bruto e de produtos florestais. Esta última parcela, desagregada por tipo de material, é apresentada na Figura 6.11, onde valores positivos correspondem a exportação líquida e valores negativos significam importação líquida. Apesar de algumas exceções pontuais, Portugal foi um importador líquido de madeira em bruto e um exportador líquido de produtos florestais no período entre 1990 e 2000. A remoção de carbono obtida com a *atmospheric-flow approach* excedeu a obtida com a *stock-change approach* entre 1990 e 1996, devido à exportação líquida de carbono, principalmente sob a forma de madeira serrada e painéis de madeira. A partir de 1997, Portugal foi um importador líquido de carbono já que a importação de carbono na madeira industrial superou a exportação de carbono nos produtos florestais.

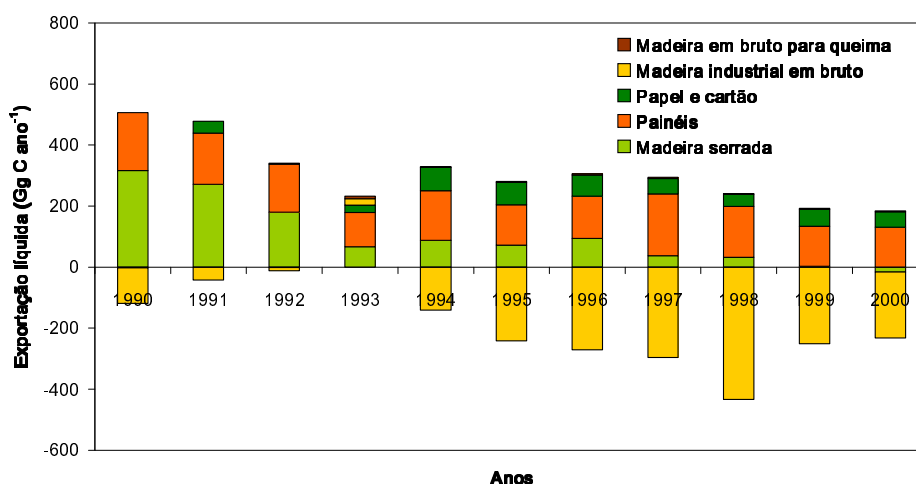


Figura 6.11 - Exportação líquida de produtos florestais e madeira em bruto considerada no método de Winjum *et al.* (1998), na *atmospheric-flow approach*.

A *production approach* conduziu a valores de remoção de carbono que oscilam entre 657 Gg C ano⁻¹, no ano 1998, e 916 Gg C ano⁻¹, no ano 1991 (Figura 6.8), e cuja tendência de evolução temporal é semelhante à observada para a produção total de produtos a partir de madeira nacional (Figura 6.12).

A Figura 6.13 mostra a contribuição de cada produto para a remoção de carbono obtida com a *production approach*. Assim, a maior contribuição ao longo de todo o período foi a do papel e cartão, variando entre 46 e 65% da remoção total de carbono. As razões apontadas para tal contribuição são a elevada produção de papel e cartão a partir de madeira nacional e as pequenas emissões resultantes da decomposição ou queima de papel e cartão produzido a partir de madeira nacional em anos anteriores (Figura 6.12).

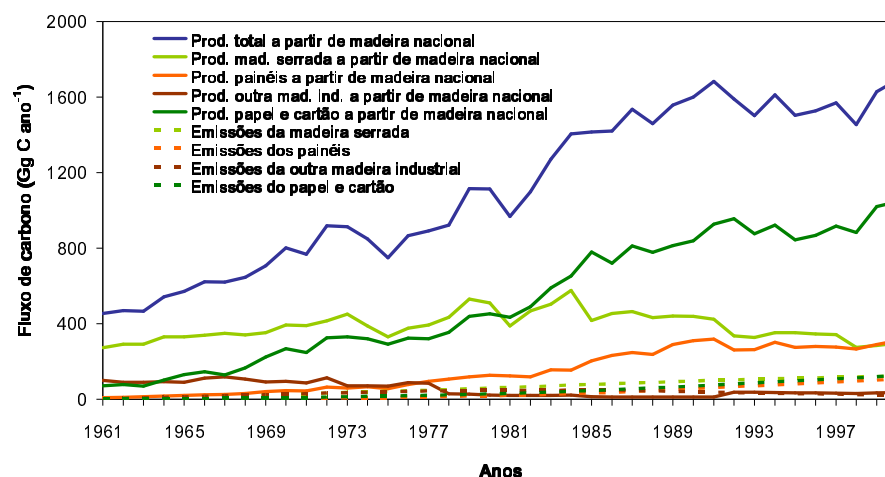


Figura 6.12 - Fluxos de entrada e de saída dos reservatórios de produtos florestais em uso e em aterro no período 1961-2000, considerados no método de Winjum *et al.* (1998), de acordo com a *production approach*.

A madeira serrada apresentou uma contribuição para a remoção de carbono que variou entre 14 e 27% da remoção total de carbono. No entanto, é de salientar que esta contribuição deve estar estimada por excesso já que as emissões resultantes da decomposição ou queima de madeira serrada produzida a partir de madeira nacional em anos anteriores devem estar subestimadas, pois é provável que antes de 1961 a produção de madeira serrada a partir de madeira nacional não fosse negligenciável, como é assumido neste método.

A contribuição dos painéis de madeira para a remoção total de carbono variou entre 20 e 24% e a outra madeira industrial foi uma fonte de emissão de carbono, excepto nos anos 1999 e 2000, em que a sua contribuição para a remoção total de carbono foi próxima de zero.

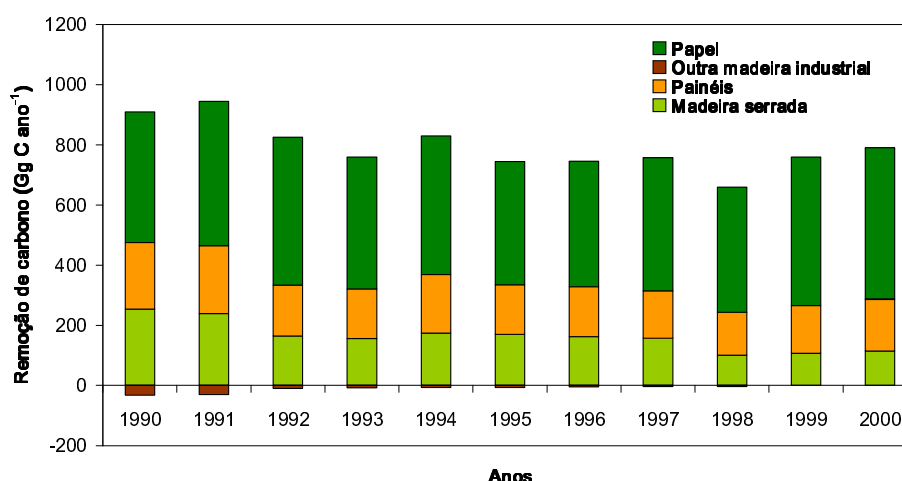


Figura 6.13 - Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, utilizando o método de Winjum *et al.* (1998), de acordo com a *production approach*.

Os valores de remoção de carbono obtidos no período em análise com a *production approach* foram superiores aos obtidos com a *stock-change approach*, pois o aumento registado na produção de produtos florestais a partir de madeira nacional desde 1961 é superior ao verificado para o consumo de produtos florestais em Portugal nesse período (Figuras 6.9 e 6.12). Deste modo, o diferencial entre a entrada de carbono no reservatório dos produtos florestais e a saída de carbono desse mesmo reservatório foi superior no caso da *production approach*. Esta tendência é devida ao facto de Portugal ser exportador de produtos florestais, cuja principal matéria-prima é a madeira nacional (Figura 6.14).

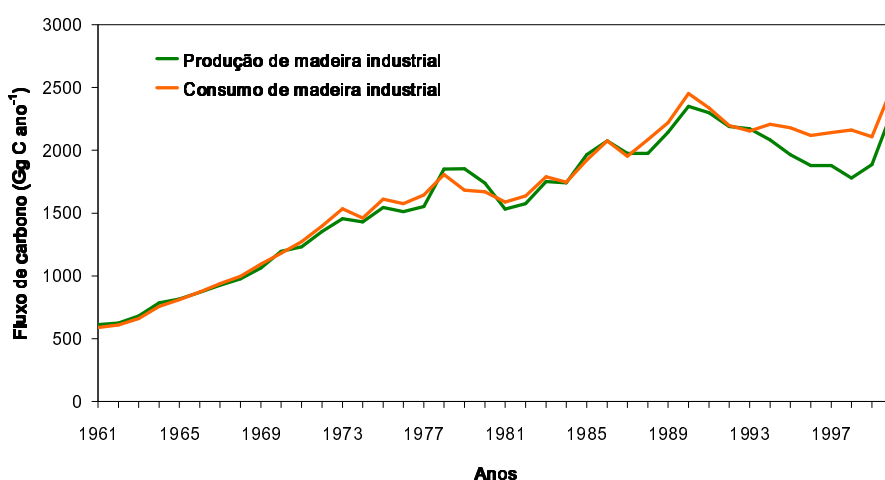


Figura 6.14 - Produção e consumo de madeira industrial em bruto no período 1961-2000, utilizando o método de Winjum *et al.* (1998).

Os resultados da análise de incerteza indicam que os intervalos de confiança de 95% dos resultados obtidos para a remoção de carbono pelas três abordagens são assimétricos, sendo maiores em relação ao percentil 2,5 do que ao percentil 97,5 (Figura 6.8). Na *stock-change approach*, a amplitude relativa do intervalo de confiança variou entre 59% (incerteza de -49% e +10%), no ano 2000, e 92% (incerteza de -76% e +16%), no ano 1990. Por seu lado, na *atmospheric-flow approach*, o valor mínimo da amplitude relativa do intervalo de confiança foi de 50% (incerteza de -35% e +15%), no ano 1993, e de 163% (incerteza de -139% e +24%), no ano 1998. Por fim, na *production approach*, a amplitude relativa do intervalo de confiança oscilou entre 48% (incerteza de -41% e +7%), no ano 1990, e 65% (incerteza de -65% e +0%), no ano 1998. Os percentis 2,5 foram sempre valores positivos em todas as abordagens, excepto na *atmospheric-flow approach* no ano 1998, indiciando uma fonte de carbono da ordem dos 126 Gg C ano⁻¹.

As Figuras 6.15, 6.16 e 6.17 apresentam a contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza total associada à remoção de carbono obtida com as três abordagens.

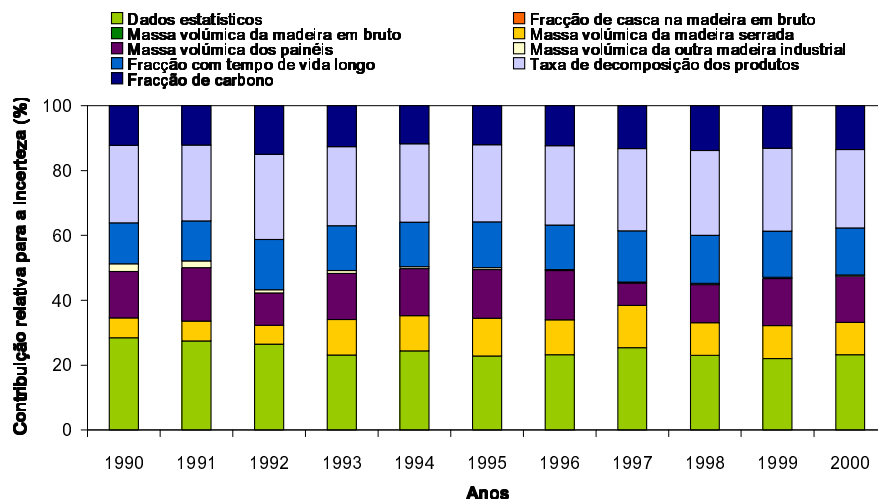


Figura 6.15 - Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a *stock-change approach*, utilizando o método de Winjum *et al.* (1998).

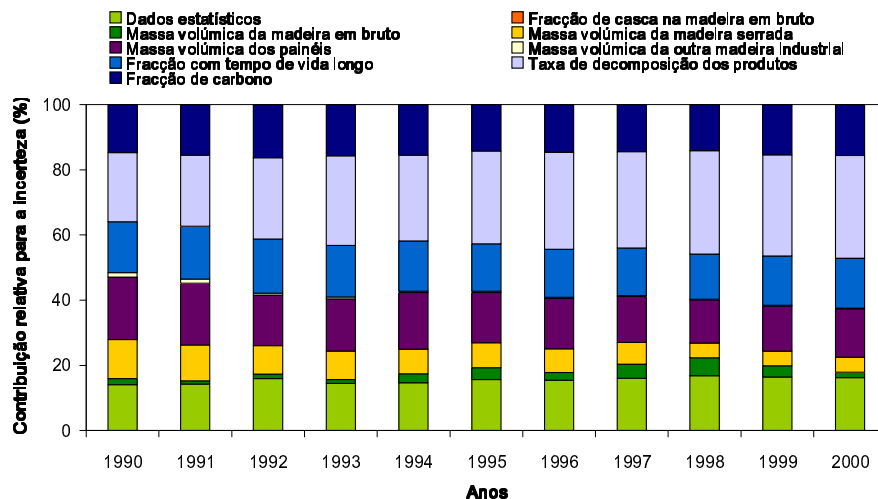


Figura 6.16 - Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a *production approach*, utilizando o método de Winjum *et al.* (1998).

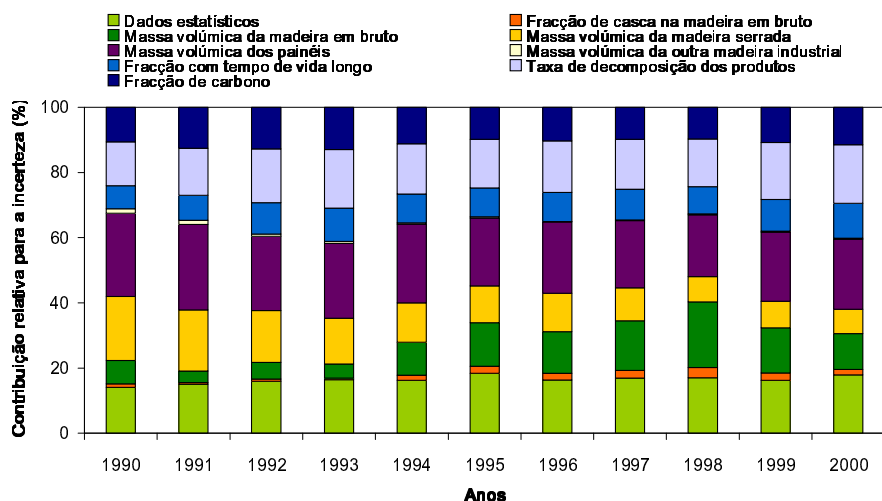


Figura 6.17 - Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a *atmospheric-flow approach*, utilizando o método de Winjum *et al.* (1998).

Na *stock-change approach*, as maiores contribuições para a incerteza são atribuídas aos dados estatísticos de produção e comércio internacional de madeira e produtos florestais (variou entre 22 e 28% da incerteza total) e à taxa de decomposição dos produtos (variou entre 23 e 26% da incerteza total). A massa volúmica dos produtos apresenta uma contribuição que variou entre 17 e 27% da incerteza total (a contribuição da massa volúmica dos painéis variou entre 7 e 17%, a da madeira serrada entre 6 e 13% e a da outra madeira industrial não ultrapassou os 2%). A contribuição da fracção de produtos com tempo de vida longo e da fracção de carbono nos produtos variou entre 12 e 16% da incerteza total.

Na *production approach*, a taxa de decomposição dos produtos é a principal fonte de incerteza, contribuindo com 21 a 32% para a incerteza total. A massa volúmica dos produtos apresenta uma contribuição semelhante para a incerteza total, sendo que a contribuição da massa volúmica dos painéis varia entre 13 e 19%, a da madeira serrada entre 4 e 12%, a da madeira em bruto entre 1 e 6% e a da outra madeira industrial é inferior a 1%. Os dados estatísticos de produção e comércio internacional de madeira e produtos florestais, a fracção de carbono e a fracção de produtos com tempo de vida longo apresentam contribuições semelhantes da ordem dos 14 a 17% da incerteza total.

Na *atmospheric-flow approach*, a massa volúmica dos produtos apresenta uma contribuição para a incerteza superior à verificada para as outras abordagens (variou entre 40 e 54% da incerteza total), em resultado da consideração adicional deste parâmetro no termo da exportação líquida. A contribuição para a incerteza total da massa volúmica dos painéis variou entre 19 e 26%, a da madeira serrada entre 7 e 20%, a da madeira em bruto entre 3 e 20% e a da outra madeira industrial não excedeu 1%. Tal como nas outras abordagens, os dados estatísticos de produção e

comércio internacional de madeira e produtos florestais e a fracção de produtos com tempo de vida longo apresentam contribuições também importantes (da ordem dos 14 a 18% da incerteza total). A contribuição para a incerteza total da fracção de carbono variou entre 10 e 13%, a da fracção de produtos com tempo de vida longo entre 7 e 10% e a da fracção de casca na madeira é apenas da ordem dos 3% no máximo.

Da análise de sensibilidade efectuada para avaliar a influência do papel produzido a partir de outras fibras vegetais que não a madeira na remoção de carbono, conclui-se que esta influência é negligenciável, causando alterações na remoção de carbono inferiores a 1% (Figura 6.18).

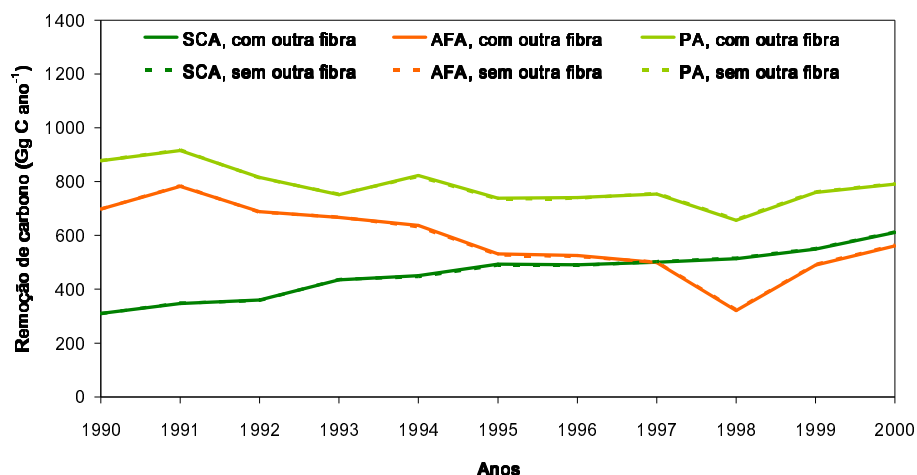


Figura 6.18 - Resultados da análise de sensibilidade no método de Winjum *et al.* (1998): influência do papel produzido a partir de outras fibras vegetais que não a madeira; SCA = *stock-change approach*, AFA = *atmospheric-flow approach*, PA = *production approach*.

Os resultados obtidos para a análise de sensibilidade visando avaliar a influência da fonte dos dados estatísticos de produção e comércio internacional são apresentados na Figura 6.19. Assim, na *stock-change approach*, o uso dos “melhores” dados disponíveis conduziu a valores mais favoráveis de remoção de carbono nos anos de 1992 e a partir de 1995 (em 1997 foi atingida a diferença máxima de 20%), que são também os anos em que esses dados conduzem a valores de consumo de produtos florestais superiores aos estimados com os dados da FAO (Figura 6.20). Por outro lado, a partir de 1992, o uso dos “melhores” dados disponíveis conduziu a valores mais favoráveis de remoção de carbono tanto na *production approach* como na *atmospheric-flow approach*, sendo a diferença máxima em ambas as abordagens atingida em 1996. Nesse ano, a remoção de carbono calculada com os “melhores” dados superou a calculada com os dados da FAO em 24% e 53%, na *production approach* e na *atmospheric-flow approach*, respectivamente. Na *production approach*, a tendência observada na diferença entre os valores de remoção de carbono calculados com os dois tipos de dados acompanha a tendência observada para a

diferença entre os valores da produção de produtos a partir de madeira nacional estimados com os dois tipos de dados (Figura 6.20). No caso da *atmospheric-flow approach*, as diferenças entre os valores de remoção de carbono com os dois tipos de dados resultam das diferenças obtidas com os dois tipos de dados para as duas parcelas que integram esta abordagem, nomeadamente, a variação dos *stocks* de produtos consumidos e a exportação líquida de produtos (Figura 6.20). Relativamente a esta última parcela, apenas no ano de 1991 a utilização dos “melhores” dados disponíveis resultou em valores inferiores aos obtidos com os dados da FAO.

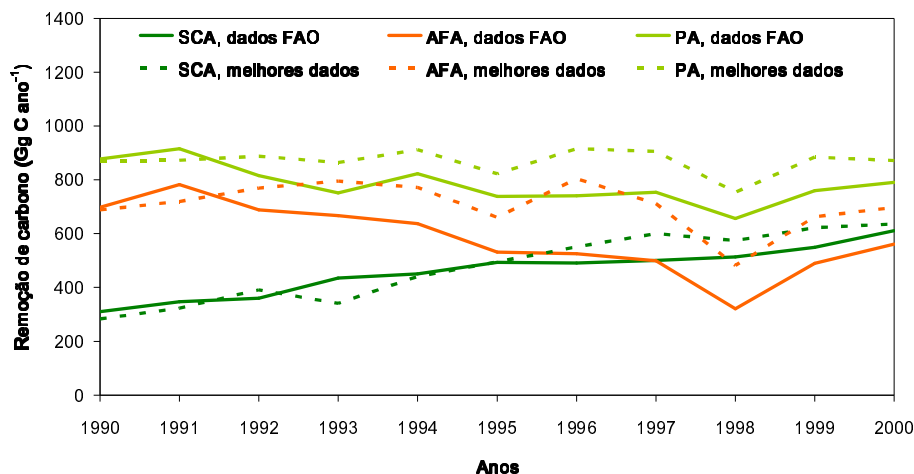


Figura 6.19 - Resultados da análise de sensibilidade no método de Winjum *et al.* (1998): influência da fonte dos dados estatísticos de produção e comércio internacional; SCA = *stock-change approach*, AFA = *atmospheric-flow approach*, PA = *production approach*.

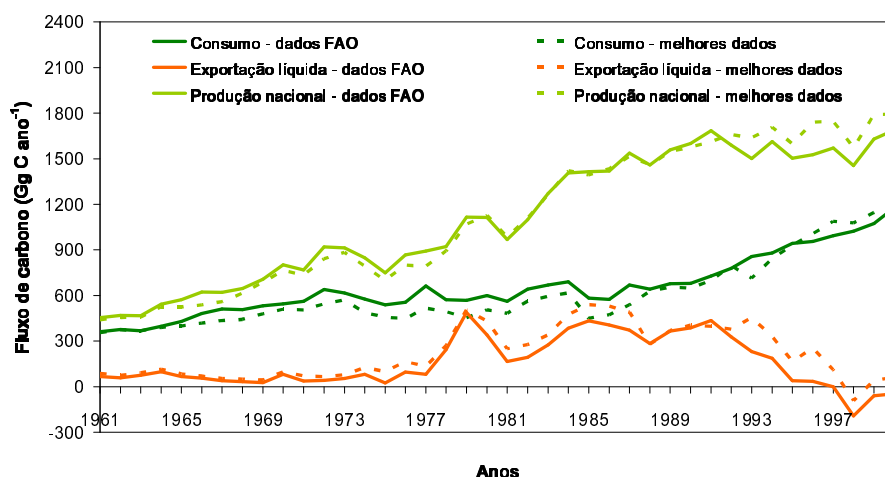


Figura 6.20 - Consumo de produtos florestais, exportação líquida de madeira e produtos florestais e produção de produtos florestais a partir de madeira nacional, utilizando o método de Winjum *et al.* (1998) para as diferentes fontes de dados estatísticos de produção e comércio internacional.

Por fim, a utilização de FDPs do tipo uniforme em vez de FDPs do tipo triangular na análise de incerteza conduziu ao aumento da amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% nas três abordagens, ao longo do período analisado (Figura 6.21). Com efeito, a amplitude relativa do intervalo de confiança variou entre 67 e 108% na *stock-change approach* (nos anos 2000 e 1990, respectivamente), entre 66 e 205% na *atmospheric-flow approach* (nos anos 1993 e 1998, respectivamente) e entre 61 e 82% na *production approach* (nos 1991 e 1998, respectivamente). Além disso, os percentis 2,5 obtidos com a utilização de FDPs uniformes apresentam valores negativos na *atmospheric-flow approach*, nos anos de 1997, 1998 e 1999 (indicando a emissão de carbono para a atmosfera de 26, 263 e 41 Gg C ano⁻¹, respectivamente) e na *stock-change approach*, no ano 1990 (indicando uma pequena fonte de carbono da ordem dos 3 Gg C ano⁻¹).

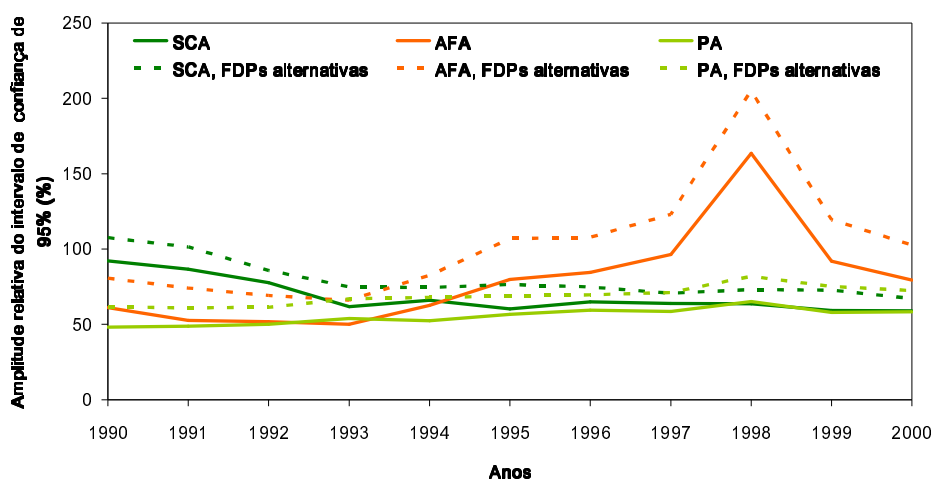


Figura 6.21 - Resultados da análise de sensibilidade no método de Winjum *et al.* (1998): influência do tipo de FDP na análise de incerteza; SCA = *stock-change approach*, AFA = *atmospheric-flow approach*, PA = *production approach*.

6.3.2. Método de 2º nível do GPG LULUCF

Por aplicação do método de 2º nível do GPG LULUCF, as três abordagens conduziram a resultados que indicam que houve remoção de carbono associada aos produtos florestais no período compreendido entre os anos de 1990 e 2000 (Figura 6.22).

A remoção de carbono estimada pela *stock-change approach* no período em análise aumentou de 167 Gg C ano⁻¹, no ano 1990, até 457 Gg C ano⁻¹, no ano 2000 (Figura 6.22), em resultado da tendência geral de crescimento observada tanto para o consumo total de produtos florestais como para o fluxo de entrada de produtos florestais para aterro (Figura 6.23).

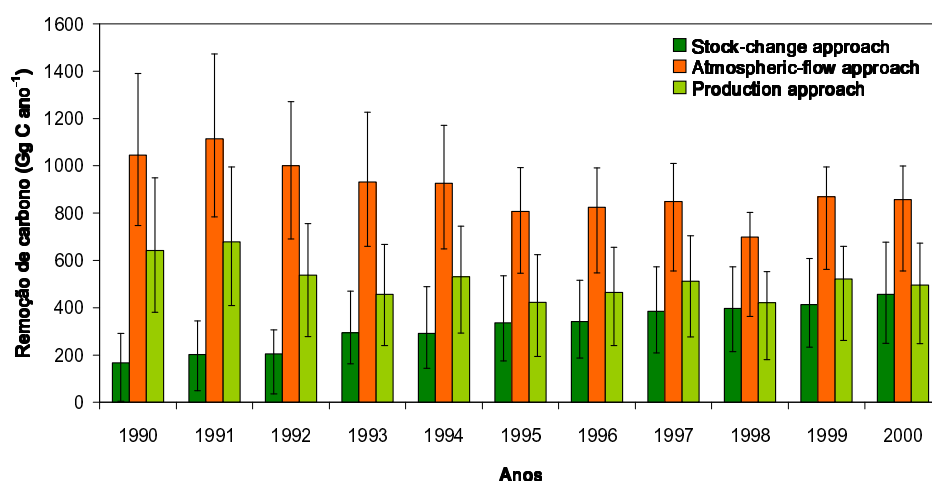


Figura 6.22 - Remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, utilizando o método de 2º nível do GPG LULUCF, de acordo com a *stock-change approach*, a *atmospheric-flow approach* e a *production approach*.

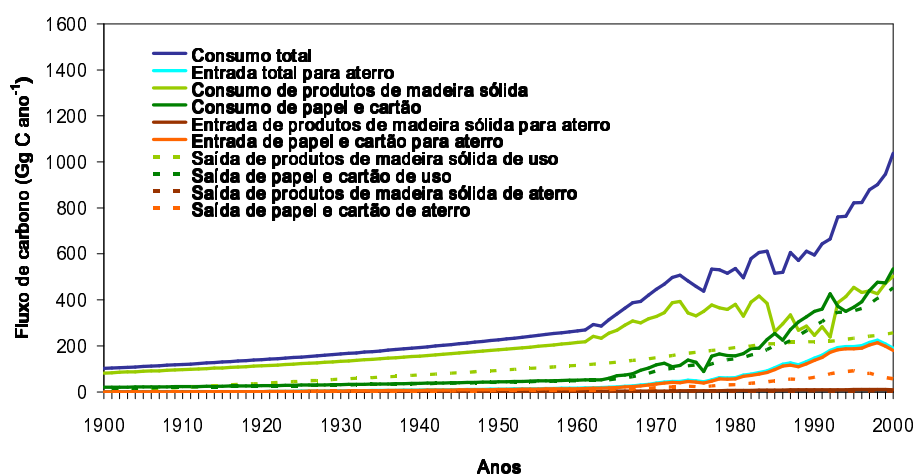


Figura 6.23 - Fluxos de entrada e de saída dos reservatórios de produtos florestais em uso e em aterro no período 1900-2000, considerados no método de 2º nível do GPG LULUCF, de acordo com a *stock-change approach*.

A Figura 6.24 mostra a repartição da remoção de carbono determinada com a *stock-change approach* pelos diferentes reservatórios considerados. Assim, o papel e cartão em aterro apresentou a maior contribuição para a remoção de carbono entre 1990 e 1992 (variando entre 40 e 45% da remoção total de carbono), pois apesar de não constituir o reservatório com maior fluxo de entrada de carbono, o fluxo de saída que lhe está associado é pequeno quando comparado com o fluxo de entrada, já que o fluxo de entrada nos anos anteriores é baixo e o tempo de vida

médio é longo (Figura 6.23). A partir de 1993, a maior contribuição para a remoção de carbono passou a ser a dos produtos de madeira sólida em uso (variando entre 45 e 66% da remoção total de carbono). Nesse período, o fluxo de entrada de carbono associado a este reservatório sofre um aumento considerável, constituindo um dos mais importantes juntamente com o associado ao papel e cartão em uso. Ao contrário do que sucede com este último, o fluxo de saída que lhe está associado não sofre um aumento muito acentuado, pelo facto de o tempo de vida dos produtos de madeira sólida ser mais elevado e de beneficiar de um período anterior, de cerca de 8 anos, em que o consumo foi inferior (Figura 6.23).

A contribuição relativa dos produtos florestais em uso para a remoção de carbono dada pela *stock-change approach* foi superior à dos produtos florestais em aterro, tendo variado entre 53 e 72%, respectivamente para os anos 1990 e 2000 (Figura 6.24). Além disso, cerca de 80 a 98% da remoção de carbono associada aos produtos de madeira sólida no período de 1990 a 2000 ocorreu na fase de uso (Figura 6.24), uma vez que o fluxo de entrada destes produtos em aterro é pouco expressivo (Figura 6.23). Pelo contrário, a maior parte da remoção de carbono associada ao papel e cartão (entre 51 e 98%) ocorreu na fase de deposição em aterro (Figura 6.24), pelo facto de os fluxos de entrada de papel e cartão em aterro terem vindo a aumentar (Figura 6.23) e o tempo de vida médio em aterro ser bastante superior ao do papel e cartão em uso.

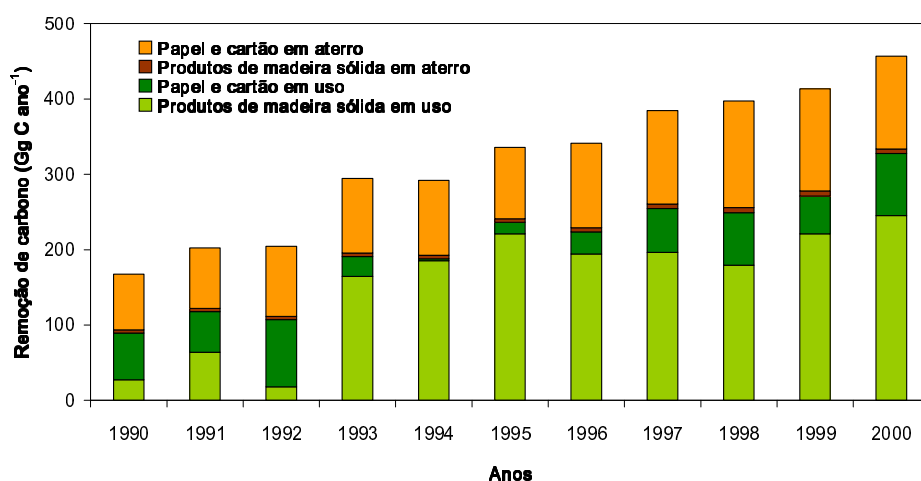


Figura 6.24 - Contribuição de cada reservatório para a remoção de carbono, utilizando o método de 2º nível do GPG LULUCF, de acordo com a *stock-change approach*.

A aplicação da *atmospheric-flow approach* conduziu a valores de remoção de carbono que variaram entre 699 Gg C ano⁻¹, no ano 1998, e 1115 Gg C ano⁻¹, no ano 1991 (Figura 6.22), superando em todo o período a remoção de carbono obtida com a *stock-change approach*, pelo facto de Portugal ter sido um exportador líquido de carbono, como se verifica na Figura 6.25. Nesta figura, os valores positivos correspondem a exportação líquida e os valores negativos a

importação líquida. Com efeito, durante todo o período de 1990 a 2000, houve exportação líquida de produtos florestais, principalmente pasta de madeira, sendo que em 1990 e 1991 a exportação líquida de madeira serrada também foi importante. É de salientar ainda que, exceptuando os anos de 1992 e 1993, Portugal foi importador líquido de madeira em bruto.

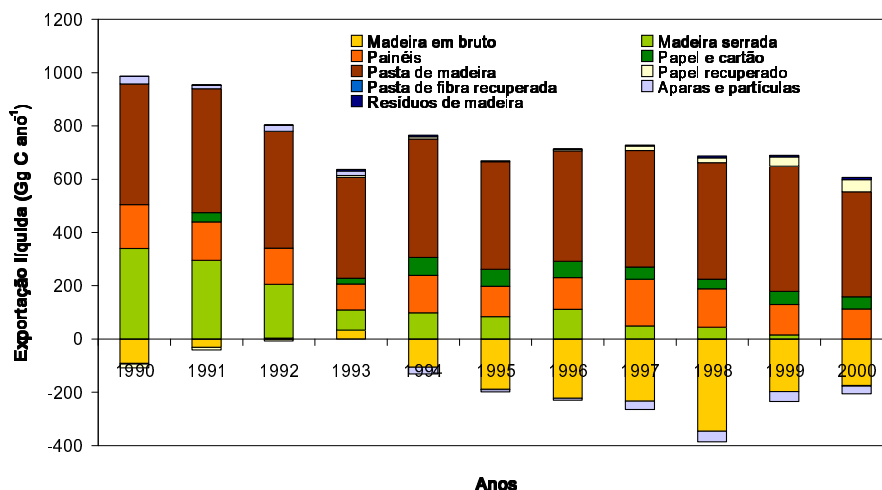


Figura 6.25 - Exportação líquida de produtos florestais, madeira em bruto e outros materiais produzidos a partir de madeira, considerada no método de 2º nível do GPG LULUCF na *atmospheric-flow approach*.

A remoção de carbono estimada com a *production approach* variou entre 422 Gg C ano⁻¹, no ano 1998, e 679 Gg C ano⁻¹, no ano 1991 (Figura 6.22), acompanhando a tendência de evolução ao longo do tempo da produção total de produtos florestais a partir de madeira nacional (Figura 6.26).

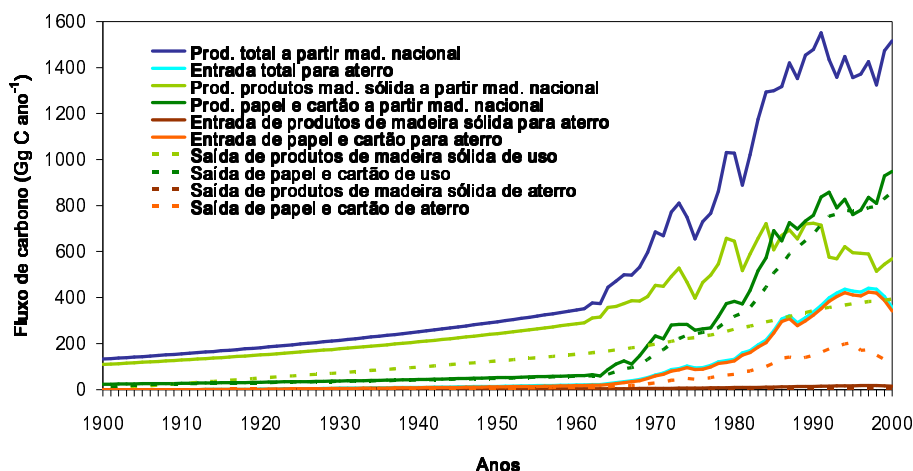


Figura 6.26 - Fluxos de entrada e de saída dos reservatórios de produtos florestais em uso e em aterro no período 1900-2000, considerados no método de 2º nível do GPG LULUCF, de acordo com a *production approach*.

A contribuição de cada reservatório para a remoção de carbono obtida com esta abordagem é apresentada na Figura 6.27. Tal como foi constatado para a *stock-change approach*, os produtos de madeira sólida em uso e o papel e cartão em aterro apresentaram as maiores contribuições, apesar de não serem os reservatórios aos quais está associada uma maior entrada de carbono. Assim, os produtos de madeira sólida em uso foram dominantes nos anos 1990 e 1991 (contribuindo com 59 e 53%, respectivamente, da remoção total de carbono) e apresentaram contribuições da mesma ordem das observadas para o papel e cartão em aterro (de 40 a 50% da remoção total de carbono) entre os anos 1992 e 1997. Por seu lado, o papel e cartão em aterro assumiu maior importância entre 1998 e 2000, contribuindo com 45 a 64% da remoção total de carbono nesse período. A importante contribuição destes reservatórios advém dos tempos de vida médios elevados que lhes estão associados e, no caso do papel e cartão em aterro, também dos fluxos de entrada de carbono em anos anteriores pouco significativos (Figura 6.26). Estes factores fazem com que os fluxos de saída de carbono destes reservatórios sejam baixos comparativamente com os fluxos de entrada (Figura 6.26).

De 1995 a 1999, a contribuição relativa dos produtos florestais em aterro variou entre 51 e 66% da remoção total de carbono dada pela *production approach*, excedendo a contribuição dos produtos florestais em uso (Figura 6.27). Nos restantes anos, os produtos florestais em uso foram preponderantes, sendo responsáveis por 51 a 72% da remoção total de carbono. À semelhança do que sucede para a *stock-change approach*, e pelos mesmos motivos, a maioria (92 a 98%) da remoção de carbono associada aos produtos de madeira sólida no período de 1990 a 2000 ocorreu na fase de uso, enquanto a maioria da remoção de carbono associada ao papel e cartão (entre 61 e 100%) ocorreu na fase de deposição em aterro (Figura 6.27).

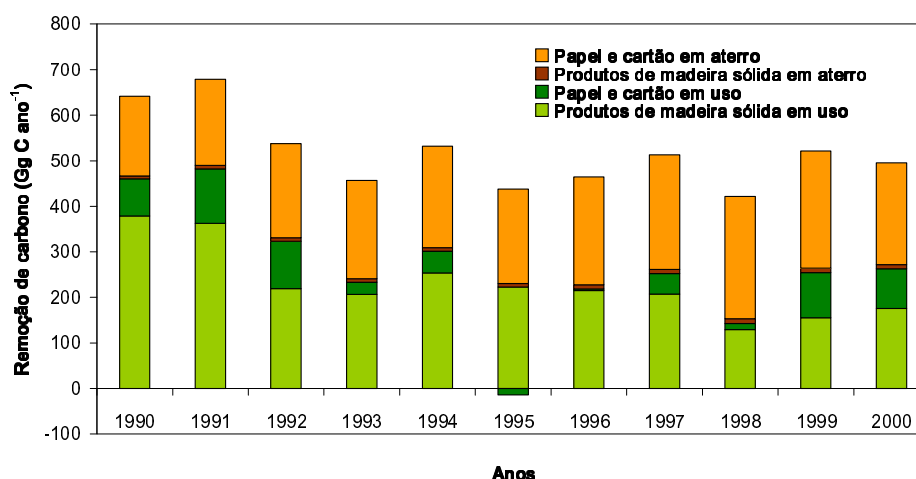


Figura 6.27 – Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, utilizando o método de 2º nível do GPG LULUCF, de acordo com a *production approach*.

A *production approach* originou valores de remoção de carbono superiores aos da *stock-change approach*, em consequência de um aumento mais acentuado na produção de produtos florestais a partir de madeira nacional do que no consumo de produtos florestais em Portugal (Figuras 6.23 e 6.26). Isto sucede porque Portugal foi exportador líquido de produtos florestais, produzidos na sua maioria a partir de madeira nacional (Figura 6.28).

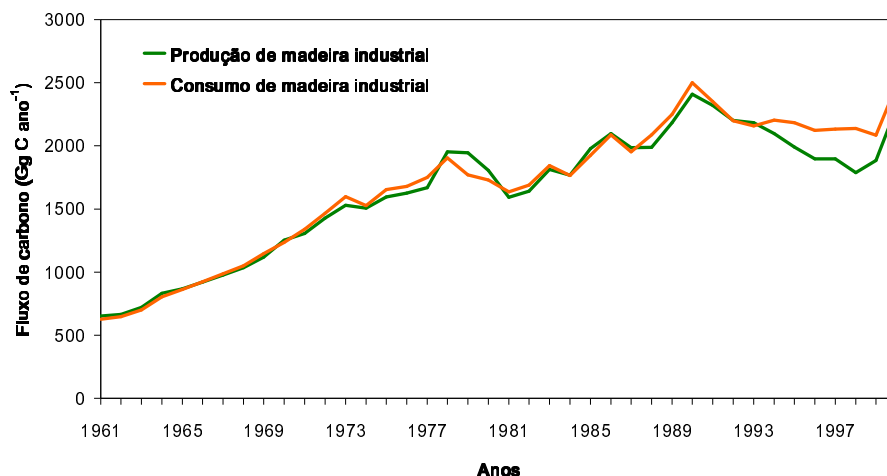


Figura 6.28 - Produção e consumo de madeira industrial em bruto no período 1961-2000, utilizando o método de 2º nível do GPG LULUCF.

Os resultados da análise de incerteza indicam que os intervalos de confiança de 95% dos resultados obtidos para a remoção de carbono pelas três abordagens não são tão assimétricos como os obtidos pelo método de Winjum *et al.* (1998), nem há uma tendência para que a assimetria seja maior em relação ao percentil 2,5 ou ao percentil 97,5 (Figura 6.22). A amplitude relativa do intervalo de confiança oscilou entre 90% (incerteza de -46% e +44%) no ano 1998 e 171% (incerteza de -97% e +74%) no ano 1990 para a *stock-change approach*, entre 50% (incerteza de -35% e +15%) no ano 1999 e 63% (incerteza de -48% e +15%) no ano 1998 para a *atmospheric-flow approach*, e entre 76% (incerteza de -50% e +26%) no ano 1999 e 101% (incerteza de -54% e +47%) no ano 1995 para a *production approach*. Os percentis 2,5 obtidos foram sempre positivos, independentemente da abordagem e do ano.

A contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza total, associada à remoção de carbono, obtida com as três abordagens é apresentada nas Figuras 6.29, 6.30 e 6.31.

De 1990 a 1992, a maior fonte de incerteza na *stock-change approach* foram os dados estatísticos de produção e comércio internacional de produtos florestais, madeira em bruto e outros materiais produzidos a partir de madeira, cuja contribuição para a incerteza total variou entre 33 e 39%. De

1993 a 2000, estes dados continuaram a apresentar uma contribuição importante para a incerteza, mas a maior contribuição passou a ser a da massa volúmica da madeira sólida (que inclui produtos de madeira sólida, madeira em bruto, resíduos de madeira e aparas e partículas), variando entre 26 e 30% da incerteza total, já que os produtos de madeira sólida desempenharam um papel importante na remoção de carbono nesse período. Embora de menor importância, são também de salientar as contribuições da taxa de decomposição dos produtos em uso (variou entre 10 e 15% da incerteza total) e da fracção de produtos enviada para aterro (variou entre 7 e 14% da incerteza total).

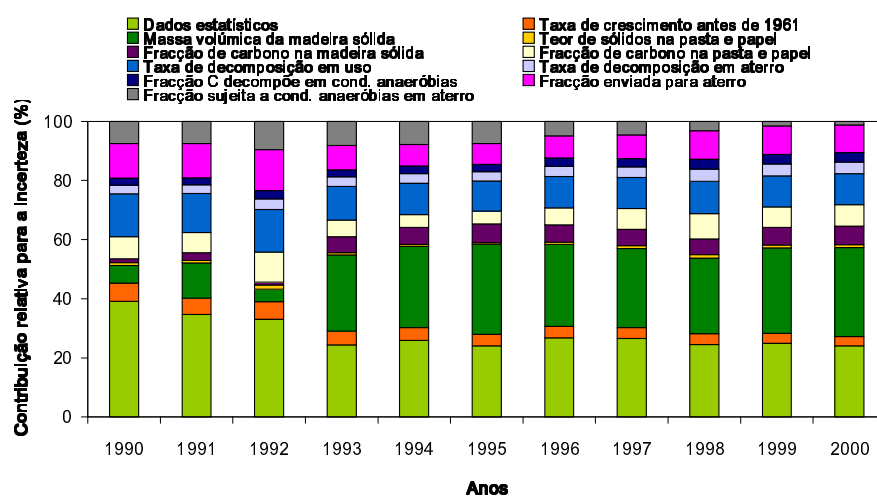


Figura 6.29 - Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a *stock-change approach*, utilizando o método de 2º nível do GPG LULUCF.

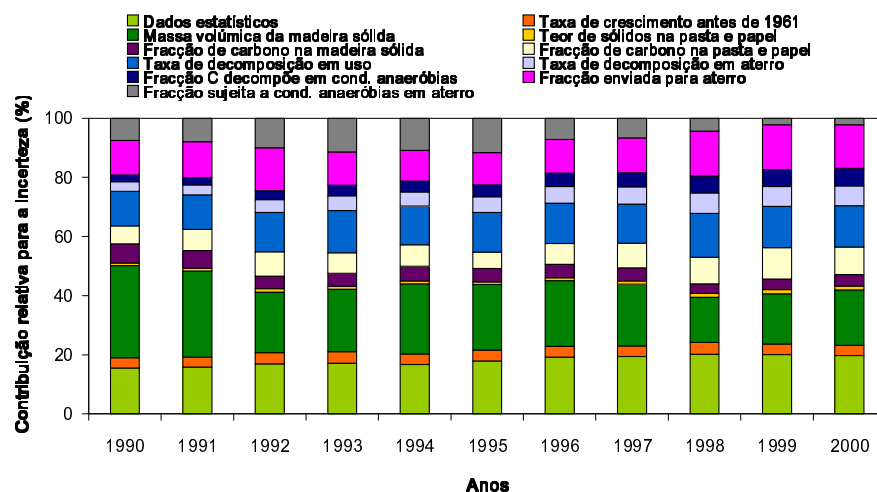


Figura 6.30 - Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a *production approach*, utilizando o método de 2º nível do GPG LULUCF.

Na *production approach*, a massa volúmica da madeira sólida e os dados estatísticos de produção e comércio internacional de produtos florestais, madeira em bruto e outros materiais produzidos a partir de madeira constituíram as principais fontes de incerteza, sendo responsáveis por 15 a 31% e 16 a 20% da incerteza total associada à remoção de carbono, respectivamente. A massa volúmica foi preponderante no período de 1990 a 1997 e os dados estatísticos nos restantes anos. Tal como na *stock-change approach*, a taxa de decomposição dos produtos em uso e a fracção de produtos enviada para aterro apresentaram contribuições de menor importância, da ordem dos 10 a 15% da incerteza total para ambas.

Na *atmospheric-flow approach*, as maiores contribuições para a incerteza total foram também as da massa volúmica da madeira sólida e dos dados estatísticos de produção e comércio internacional de produtos florestais, madeira em bruto e outros materiais produzidos a partir de madeira, sendo de 13 a 39% e de 16 a 29%, respectivamente. No período em que a exportação líquida de madeira sólida (produtos de madeira sólida, madeira em bruto, resíduos de madeira e aparas e partículas, considerados conjuntamente) foi mais importante (de 1990 a 1994), a contribuição da massa volúmica foi nitidamente superior à dos dados estatísticos. A fracção de carbono na pasta e no papel apresentaram também uma contribuição importante para a incerteza (entre 14 e 28% da incerteza total), devido à relevância que estes materiais, em particular a pasta, assumiram na exportação líquida de carbono.

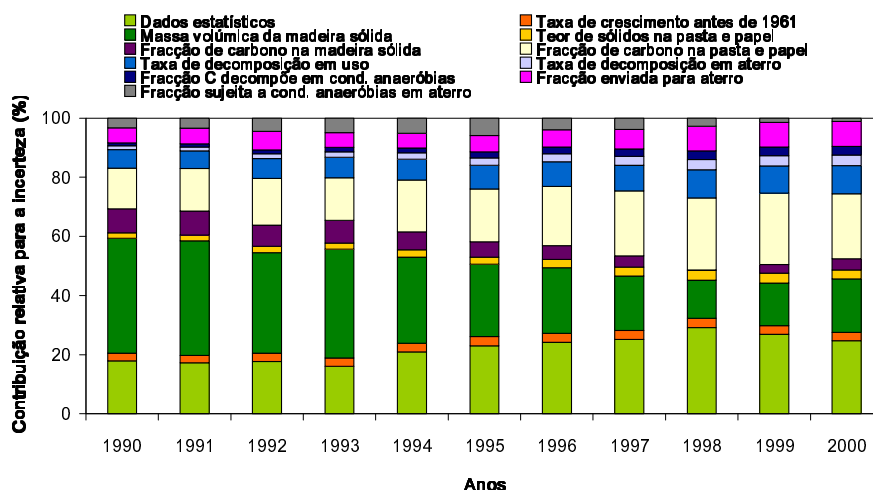


Figura 6.31 - Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a *atmospheric-flow approach*, utilizando o método de 2º nível do GPG LULUCF.

A Figura 6.32 mostra os resultados obtidos na análise da influência da fonte dos dados estatísticos de produção e comércio internacional. Quando foram utilizados os “melhores” dados disponíveis, a

remoção de carbono estimada pela *stock-change approach* foi de 6 a 33% superior à obtida a partir dos dados da FAO. A única exceção foi no ano 1993, em que os “melhores” dados originaram uma remoção de carbono cerca de 33% inferior à obtida com os dados da FAO, pelo facto de nesse ano se verificar a maior diferença entre os fluxos de entrada de carbono nos reservatórios de produtos em uso e em aterro (principalmente no primeiro) calculados com os dois tipos de dados, com vantagem para os dados da FAO (Figura 6.33).

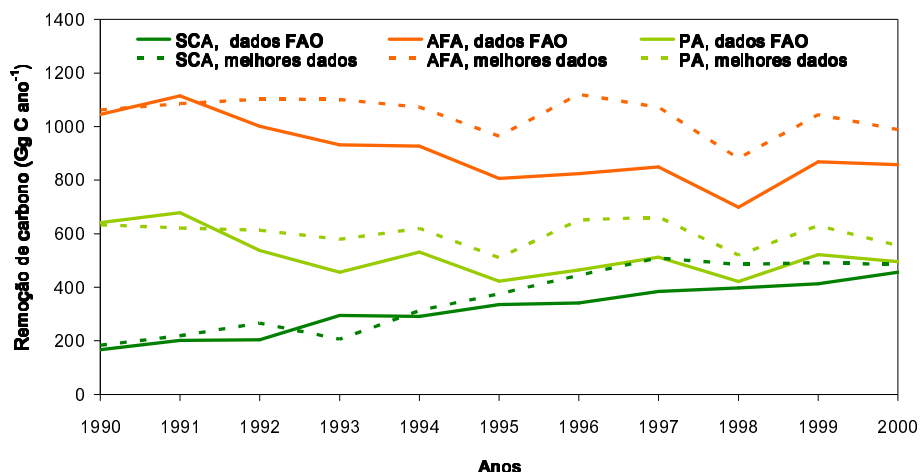


Figura 6.32 - Resultados da análise de sensibilidade no método de 2º nível do GPG LULUCF: influência da fonte dos dados estatísticos de produção e comércio internacional; SCA = *stock-change approach*, AFA = *atmospheric-flow approach*, PA = *production approach*.

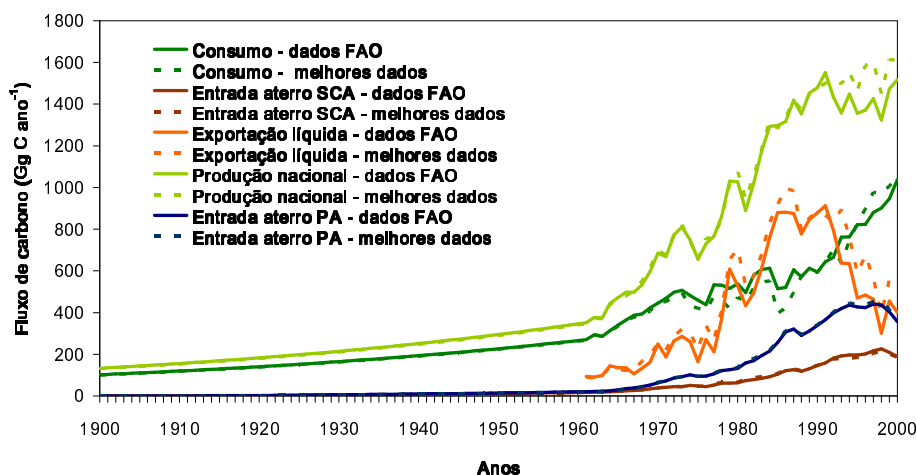


Figura 6.33 - Fluxos de entrada de carbono nos reservatórios de produtos em uso e em aterro na *stock-change approach* (SCA) e na *production approach* (PA) e exportação líquida total de carbono, considerados no método de 2º nível do GPG LULUCF para as diferentes fontes de dados estatísticos de produção e comércio internacional.

Por seu lado, na *production approach*, os dados da FAO apenas originaram resultados mais favoráveis nos anos 1990 e 1991 (1 e 9% superiores aos obtidos com os “melhores” dados disponíveis), associados a maiores entradas de carbono no reservatório de produtos em uso (Figura 6.33). Nos restantes anos, a remoção de carbono calculada a partir dos “melhores” dados disponíveis é cerca de 12 a 40% superior à obtida a partir dos dados da FAO. Por fim, na *atmospheric-flow approach*, o uso dos “melhores” dados disponíveis conduziu a valores de remoção de carbono de 2 a 36% superiores aos obtidos com os dados da FAO, excepto no ano 1991 (a remoção de carbono foi cerca de 3% inferior) por influência da exportação líquida de carbono, que foi inferior quando foram usados os “melhores” dados disponíveis (Figura 6.33).

A substituição de FDPs triangulares por FDPs uniformes na análise de incerteza originou um aumento da amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% nas três abordagens, em todo o período analisado (Figura 6.34). Assim, a amplitude relativa do intervalo de confiança variou entre 105 e 200% na *stock-change approach* (nos anos de 1998 e 1990), entre 61 e 79% na *atmospheric-flow approach* (nos anos de 1999 e 1990) e entre 94 e 128% na *production approach* (nos anos de 1999 e 1995). Os percentis 2,5 associados à utilização de FDPs uniformes apresentaram apenas um valor negativo, obtido para a *stock-change approach*, no ano 1990, e correspondente a uma pequena emissão de carbono de 13 Gg C ano⁻¹.

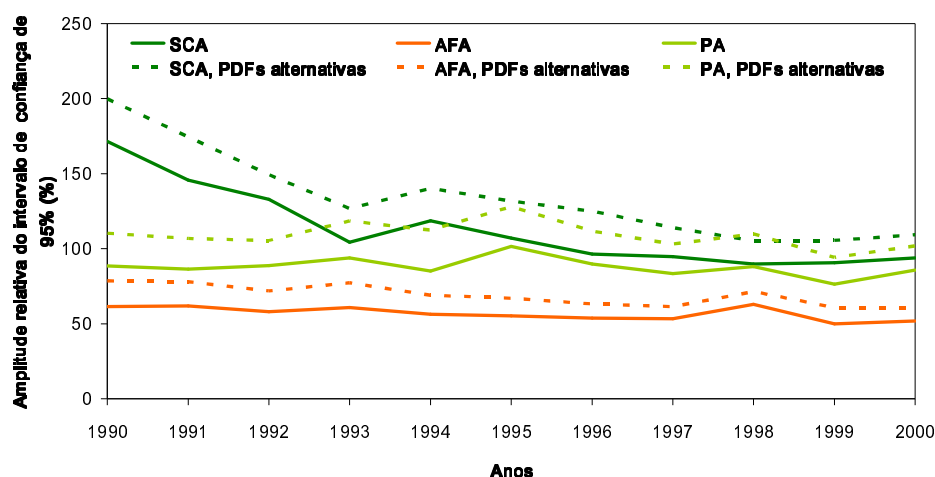


Figura 6.34 - Resultados da análise de sensibilidade no método de 2º nível do GPG LULUCF: influência do tipo de FDP na análise de incerteza; SCA = *stock-change approach*, AFA = *atmospheric-flow approach*, PA = *production approach*.

6.3.3. Método B de 3º nível do GPG LULUCF

O método B de 3º nível do GPG LULUCF originou resultados que indicam que houve remoção de carbono associada aos produtos florestais entre os anos de 1990 e 2000, para todas as abordagens (Figura 6.35).

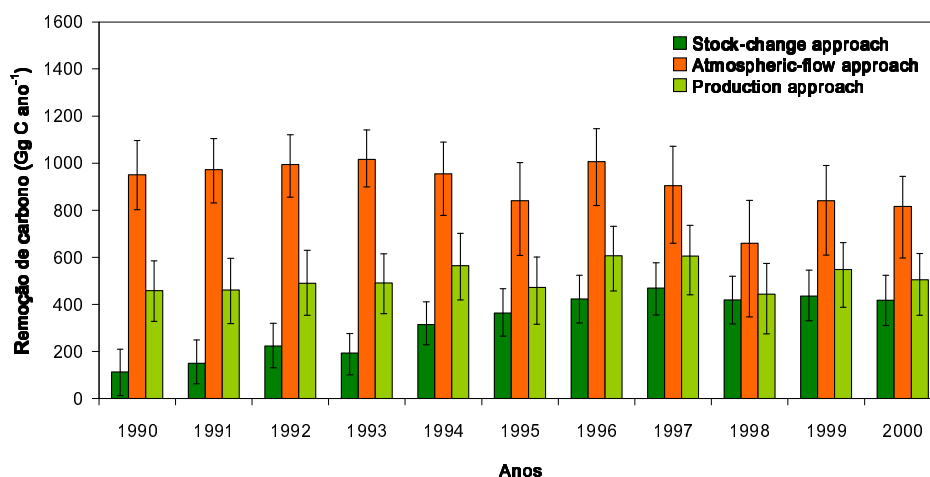


Figura 6.35 - Remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, utilizando o método B de 3º nível do GPG LULUCF, de acordo com a *stock-change approach*, a *atmospheric-flow approach* e a *production approach*.

A remoção de carbono estimada pela *stock-change approach* variou entre 112 Gg C ano⁻¹, no ano 1990, e 469 Gg C ano⁻¹, no ano 1997 (Figura 6.35), apresentando uma tendência de variação semelhante à evidenciada pelo consumo total de produtos florestais (Figura 6.36).

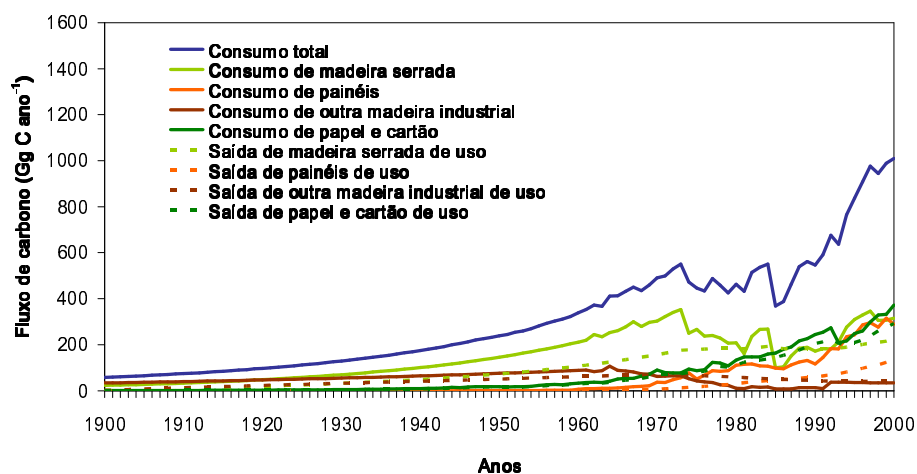


Figura 6.36 - Fluxos de entrada e de saída dos reservatórios de produtos florestais em uso no período 1900-2000, considerados no método B de 3º nível do GPG LULUCF, de acordo com a *stock-change approach*.

A contribuição dos diferentes tipos de produtos florestais (em uso e em aterro) para a remoção de carbono calculada pela *stock-change approach* é apresentada na Figura 6.37. A maior contribuição para a remoção de carbono em todo o período foi devida aos painéis em uso (variando entre 38 e 55% da remoção total de carbono), apesar de estes produtos não constituírem o reservatório com maior fluxo de entrada de carbono. Contudo, beneficiam do facto de o fluxo de entrada de carbono apresentar uma tendência de crescimento que se acentua a partir de 1990 e o fluxo de saída de carbono que lhe está associado ser pequeno, devido a um fluxo de entrada em anos anteriores baixo e a tempos de vida longos (Figura 6.36). Entre 1990 e 1993, a segunda maior contribuição para a remoção de carbono foi a do papel e cartão em aterro (variando entre 27 e 47% da remoção total de carbono) já que o fluxo de saída de carbono que lhe está associado foi pequeno quando comparado com o fluxo de entrada, na medida em que o fluxo de papel e cartão para aterro nos anos anteriores foi baixo e o tempo de vida médio é longo (Figura 6.38). A partir de 1994, a segunda maior contribuição pertenceu à madeira serrada em uso (variando entre 21 e 32% da remoção total de carbono), porque a partir do início dos anos 90 o fluxo de entrada de carbono associado a este reservatório sofreu um aumento considerável, enquanto o aumento verificado no fluxo de saída foi mais suave pelo facto de o tempo de vida da madeira serrada ser elevado e beneficiar de um período anterior de cerca de 20 anos em que o consumo foi inferior (Figura 6.36). A outra madeira industrial foi uma fonte de emissão de carbono em todo o período de 1990 a 2000, bem como a madeira serrada no ano 1990.

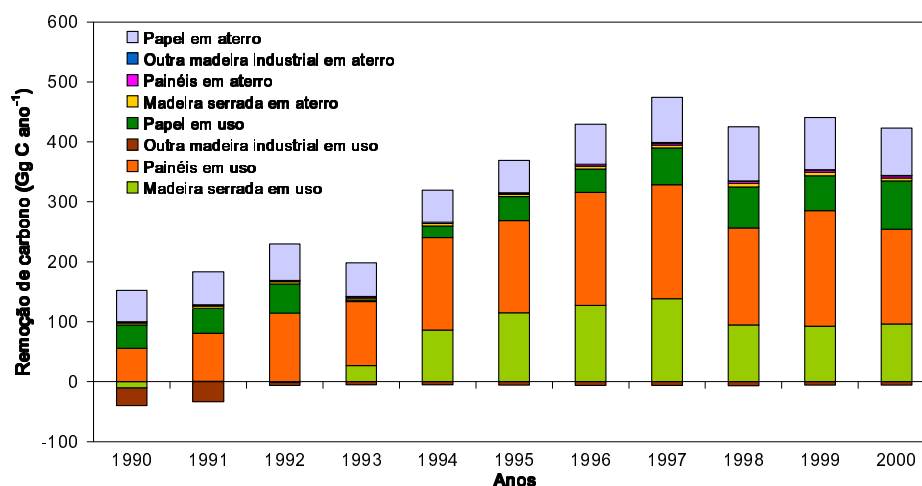


Figura 6.37 - Contribuição de cada reservatório para a remoção de carbono, utilizando o método B de 3º nível do GPG LULUCF, de acordo com a *stock-change approach*.

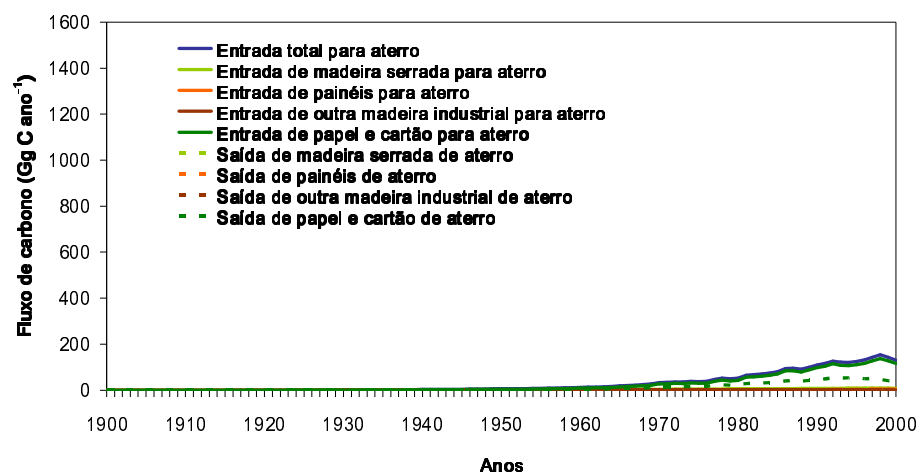


Figura 6.38 - Fluxos de entrada e de saída dos reservatórios de produtos florestais em aterro no período 1900-2000, considerados no método B de 3º nível do GPG LULUCF, de acordo com a *stock-change approach*.

A contribuição para a remoção total de carbono dos produtos florestais em uso variou entre 49 e 83%, respectivamente para os anos de 1990 e 1995, sendo inferior à dos produtos florestais em aterro apenas no ano 1990 (Figura 6.37). Para os vários produtos de madeira sólida em aterro, a remoção de carbono foi insignificante (Figura 6.37) à semelhança do que sucedeu com o fluxo de entrada destes produtos em aterro (Figura 6.38). Pelo contrário, a remoção de carbono associada ao papel e cartão em aterro foi tão (no ano 2000), ou mais importante (nos restantes anos) que a associada ao papel e cartão em uso (Figura 6.37), o que se justifica com o aumento registado no fluxo de entrada de papel e cartão em aterro (Figura 6.38), aliado a um tempo de vida médio em aterro bastante superior ao do papel e cartão em uso. Por fim, refira-se que nos anos 1990 e 1991 o produto florestal que apresentou a maior contribuição para a remoção total de carbono foi o papel e cartão e nos anos seguintes do período foram os painéis de madeira (Figura 6.37).

A remoção de carbono obtida com a *atmospheric-flow approach* variou entre 659 Gg C ano⁻¹, no ano 1998, e 1016 Gg C ano⁻¹, no ano 1993 (Figura 6.35), excedendo em todo o período a remoção de carbono obtida com a *stock-change approach* em resultado da exportação líquida de carbono verificada em todo o período de 1990 a 2000, como mostra a Figura 6.39, onde valores positivos significam exportação líquida e valores negativos significam importação líquida. A pasta de madeira constituiu o principal material exportado em todo o período de 1990 a 2000. No ano 1990 é de assinalar também a exportação líquida de madeira serrada. Refira-se ainda que, com excepção dos anos de 1992 e 1993, houve importação líquida de madeira em bruto, que atingiu o seu máximo no ano 1998, influenciando negativamente a remoção de carbono.

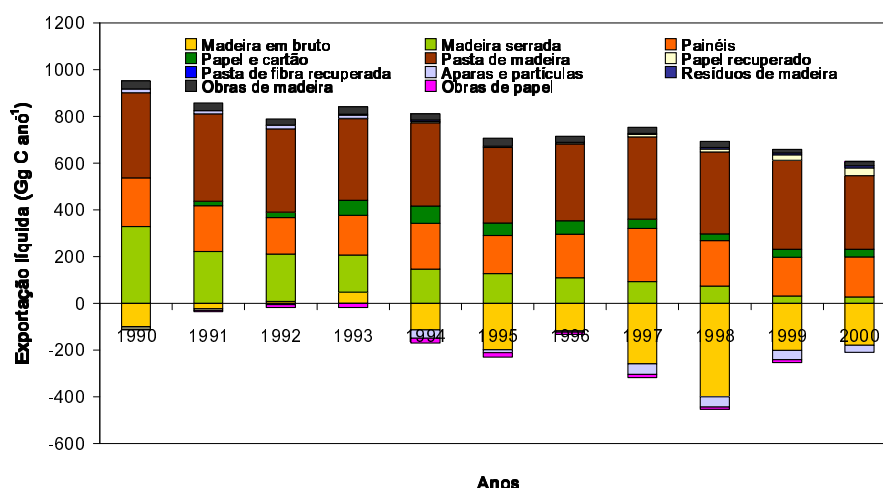


Figura 6.39 - Exportação líquida de produtos florestais, madeira em bruto e outros materiais produzidos a partir de madeira, considerada no método B de 3º nível do GPG LULUCF na *atmospheric-flow approach*.

A *production approach* originou valores de remoção de carbono entre 443 Gg C ano⁻¹, no ano 1998, e 606 Gg C ano⁻¹, nos anos 1996 e 1997 (Figura 6.35), apresentando uma evolução temporal semelhante à verificada para a produção total de produtos florestais a partir de madeira nacional (Figura 6.40).

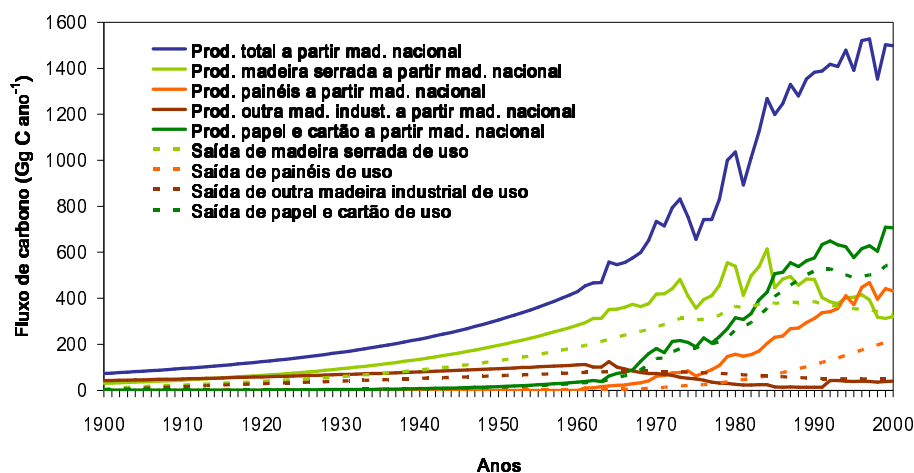


Figura 6.40 - Fluxos de entrada e de saída dos reservatórios de produtos florestais em uso no período 1900-2000, considerados no método B de 3º nível do GPG LULUCF, de acordo com a *production approach*.

A Figura 6.41 mostra a contribuição de cada tipo de produto (em uso e em aterro) para a remoção de carbono obtida com a *production approach*. Tal como na *stock-change approach*, os painéis em uso apresentaram a maior contribuição para a remoção de carbono em todo o período (variando entre 42 e 47% da remoção total de carbono), mesmo não apresentando o maior fluxo de entrada

de carbono. Os motivos desta contribuição são o fluxo de entrada de carbono crescente ao longo do tempo, associado a um fluxo de saída de carbono comparativamente pequeno (devido ao fluxo de entrada em anos anteriores baixo e aos tempos de vida dos painéis em uso longos) (Figura 6.40). A segunda maior contribuição para a remoção de carbono foi a do papel e cartão, sendo que até 1998 predominou o papel e cartão em aterro (com uma contribuição de 24 a 38% da remoção total de carbono) devido a um fluxo de entrada de carbono neste reservatório crescente, aliado a um fluxo de saída de carbono comparativamente pequeno (Figura 6.42). Em 1999 e 2000, o papel e cartão em uso passou a ser mais relevante (com uma contribuição de 31 e 32% da remoção total de carbono), na sequência de um aumento verificado na entrada de carbono no reservatório do papel e cartão em uso e de um decréscimo na entrada de carbono no reservatório do papel e cartão em aterro (Figura 6.42). A madeira serrada em uso teve uma contribuição pouco significativa na remoção de carbono, tendo sido, inclusivamente, uma pequena fonte de carbono de 1998 a 2000, pelo facto de a partir de metade da década de 80 a produção de madeira serrada a partir de madeira nacional ter vindo a diminuir (Figura 6.40). A outra madeira industrial foi também uma fonte de emissão de carbono de 1990 a 2000, resultante também do decréscimo da sua produção a partir de madeira nacional desde meados da década de 60 (Figura 6.40).

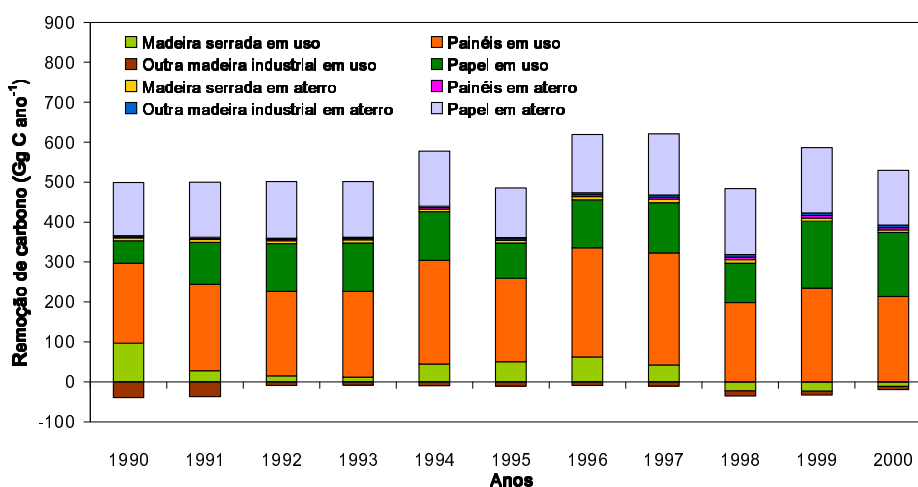


Figura 6.41 - Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, utilizando o método B de 3º nível do GPG LULUCF, de acordo com a *production approach*.

Os produtos florestais em uso foram mais importantes na remoção de carbono do que os produtos florestais em aterro, representando 59 a 74% da remoção de carbono total (Figura 6.41). Tal como na *stock-change approach*, a remoção de carbono promovida pelos diversos produtos de madeira sólida em aterro foi insignificante (Figura 6.41), devido ao também insignificante fluxo de entrada destes produtos em aterro (Figura 6.42). Por fim, resta referir que o produto florestal que apresentou a maior contribuição para a remoção de carbono no período de 1991 a 1993 e de 1998 a 2000 foi o papel e cartão e nos restantes anos foram os painéis de madeira (Figura 6.41).

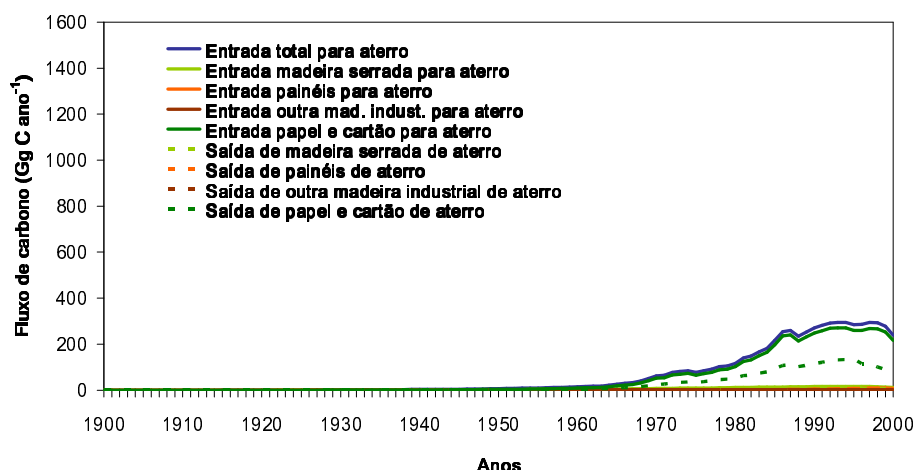


Figura 6.42 - Fluxos de entrada e de saída dos reservatórios de produtos florestais em aterro no período 1900-2000, considerados no método B de 3º nível do GPG LULUCF, de acordo com a *production approach*.

A remoção de carbono foi superior com a *production approach* do que com a *stock-change approach* em todo o período analisado, pois o aumento verificado na produção de produtos florestais a partir de madeira nacional foi mais significativo do que o verificado no consumo de produtos florestais em Portugal (Figuras 6.36 e 6.40). Tal como já foi referido anteriormente, este facto sucede porque houve exportação líquida de produtos florestais que tiveram como matéria-prima principal a madeira nacional (Figura 6.43).

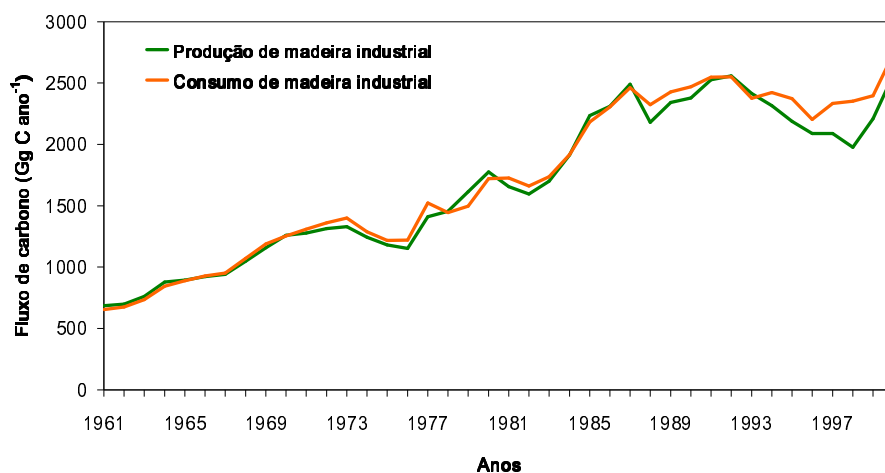


Figura 6.43 - Produção e consumo de madeira industrial em bruto no período 1961-2000, utilizando o método B de 3º nível do GPG LULUCF.

Tal como foi verificado no método de 2º nível do GPG LULUCF, os intervalos de confiança de 95% dos resultados obtidos para a remoção de carbono pelas três abordagens são menos assimétricos

que os obtidos pelo método de Winjum *et al.* (1998), não havendo também uma tendência para que a assimetria seja maior em relação ao percentil 2,5 ou ao percentil 97,5 (Figura 6.35). A amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% variou entre 47% (incerteza de -24% e +23%) no ano 1997 e 176% (incerteza de -89% e +87%) no ano 1990 para a *stock-change approach*, entre 24% (incerteza de $\pm 12\%$) no ano 1993 e 75% (incerteza de -47% e +28%) no ano 1998 para a *atmospheric-flow approach*, e entre 45% no ano 1996 (incerteza de -24% e +21%) e 67% no ano 1998 (incerteza de -38% e +29%) para a *production approach*. Os valores obtidos para os percentis 2,5 em todas as abordagens foram positivos em todos os anos.

As Figuras 6.44, 6.45 e 6.46 mostram a contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza total associada à remoção de carbono com as três abordagens. Na *stock-change approach* e na *production approach*, a maior fonte de incerteza em todo o período analisado foram os dados estatísticos de produção e comércio internacional de produtos florestais, madeira em bruto e outros materiais produzidos a partir de madeira, sendo responsáveis por 31 a 38% e 21 a 24% da incerteza total, respectivamente. A segunda maior contribuição para a incerteza nestas duas abordagens foi a taxa de decomposição dos produtos em uso, que variou entre 14 e 20% no caso da *stock-change approach* e entre 18 e 23% no caso da *production approach*. A fracção de produtos enviada para aterro e a massa volúmica da madeira sólida (que inclui madeira serrada, painéis, outra madeira industrial, madeira em bruto, resíduos de madeira, aparas e partículas e obras de madeira) também apresentaram contribuições significativas para a incerteza nas duas abordagens. Com efeito, a contribuição do primeiro parâmetro foi de 8 a 13% na *stock-change approach* e de 11 a 18% na *production approach*, e a contribuição do segundo parâmetro foi de 6 a 11% na *stock-change approach* e de 7 a 16% na *production approach*.

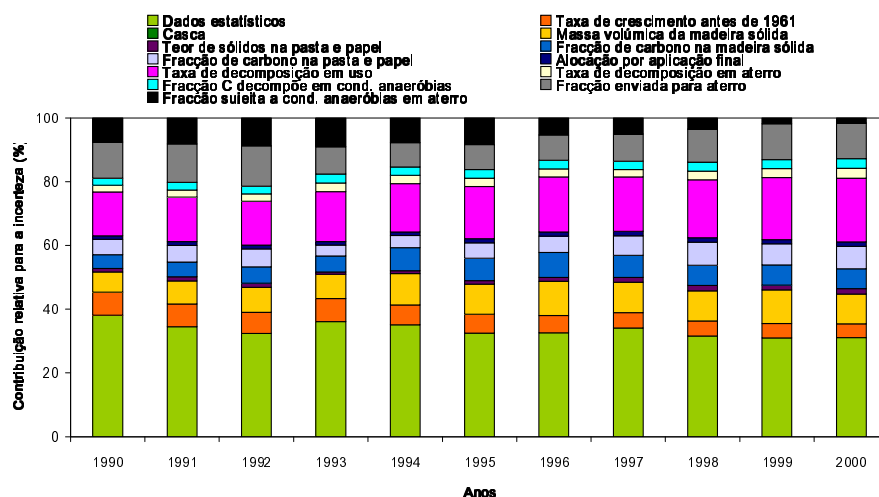


Figura 6.44 - Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a *stock-change approach*, utilizando o método B de 3º nível do GPG LULUCF.

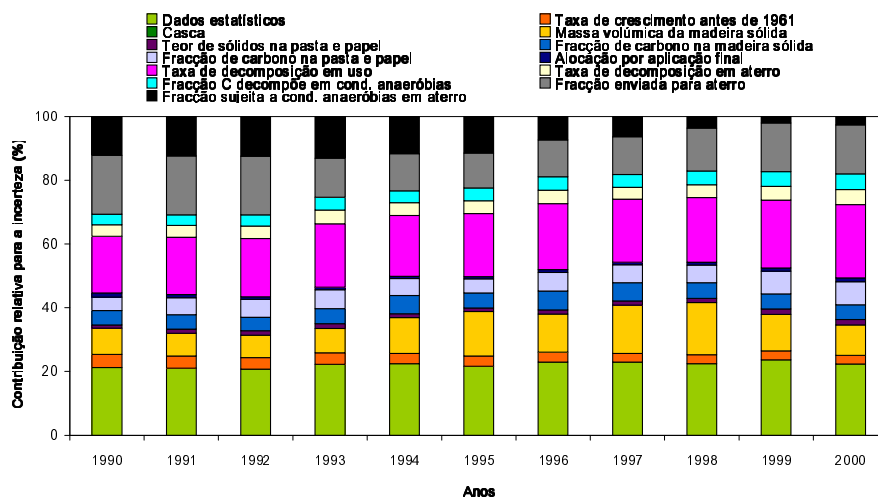


Figura 6.45 - Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a *production approach*, utilizando o método B de 3º nível do GPG LULUCF.

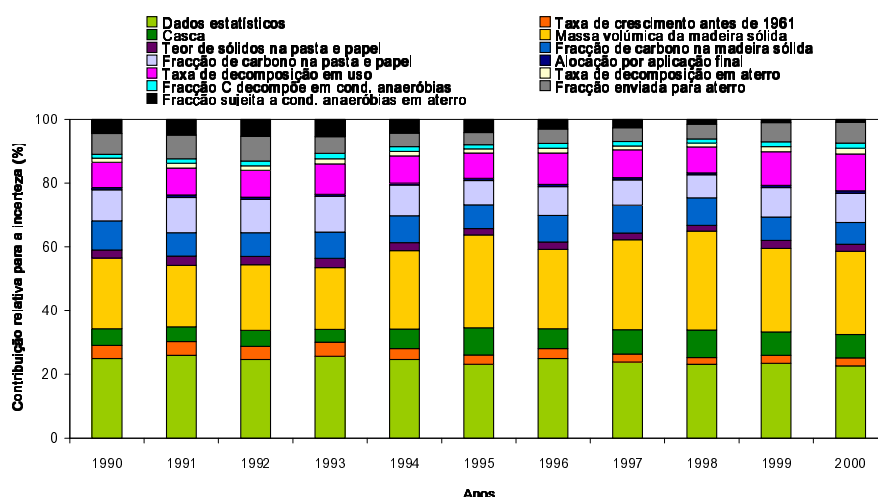


Figura 6.46 - Contribuição relativa de cada parâmetro (ou grupo de parâmetros) para a incerteza associada à remoção de carbono obtida com a *atmospheric-flow approach*, utilizando o método B de 3º nível do GPG LULUCF.

Na *atmospheric-flow approach*, as maiores contribuições para a incerteza foram os dados estatísticos de produção e comércio internacional de produtos florestais, madeira em bruto e outros materiais produzidos a partir de madeira e a massa volúmica da madeira sólida, sendo de 23 a 26% e de 19 a 31%, respectivamente. A contribuição da massa volúmica excedeu a dos dados estatísticos no ano 1995 e nos anos de 1997 a 2000, quando a importação de madeira em bruto foi superior (Figura 6.39). Os outros parâmetros que mereceram destaque no contexto das duas abordagens acima referidas foram a taxa de decomposição dos produtos em uso e a fracção de produtos enviada para aterro. Na *atmospheric-flow approach*, estes parâmetros vêm a sua relevância diminuída, uma vez que nesta abordagem há um aumento da contribuição relativa da

fracção de carbono nos produtos florestais (principalmente na pasta e no papel), além de que há a influência adicional dos parâmetros associados à casca (fracção de casca na madeira em bruto e fracção de madeira em bruto comercializada com casca).

Os resultados obtidos na análise da influência da fonte dos dados estatísticos de produção e comércio internacional são apresentados na Figura 6.47. Com a utilização dos “melhores” dados disponíveis na *stock-change approach*, foram obtidos valores de remoção de carbono de 7 a 68% superiores aos obtidos com a utilização de dados da FAO. A única excepção ocorreu no ano 1993, em que os “melhores” dados disponíveis conduziram a uma remoção de carbono cerca de 23% inferior, pois nesse ano foi obtida a maior diferença entre os fluxos de entrada de carbono nos reservatórios de produtos em uso e em aterro (principalmente no primeiro) calculados com os dois tipos de dados, com vantagem para os dados da FAO (Figura 6.48).

Na *production approach*, a remoção de carbono calculada a partir dos “melhores” dados disponíveis foi de 7 a 55% superior à obtida com os dados da FAO, excepto em 1991, coincidindo com uma menor entrada de carbono no reservatório de produtos em uso (Figura 6.48).

Na *atmospheric-flow approach*, a utilização dos “melhores” dados disponíveis originou valores de remoção de carbono 1 a 56% superiores aos obtidos com os dados da FAO. Mesmo quando a variação dos *stocks* de carbono nos produtos consumidos foi inferior com os “melhores” dados disponíveis (em 1993), a exportação líquida de carbono estimada com esses dados compensou essa diferença. Pelo contrário, quando a exportação líquida de carbono foi inferior com os “melhores” dados disponíveis (em 1991), a variação dos *stocks* de carbono nos produtos consumidos disponíveis obtida com esses dados compensou essa diferença (Figuras 6.47 e 6.48).

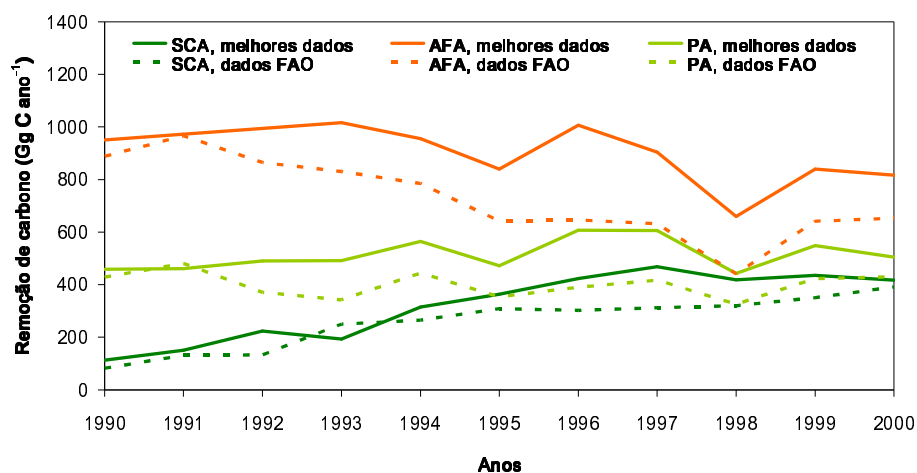


Figura 6.47 - Resultados da análise de sensibilidade no método B de 3º nível do GPG LULUCF: influência da fonte dos dados estatísticos de produção e comércio internacional; SCA = *stock-change approach*, AFA = *atmospheric-flow approach*, PA = *production approach*.

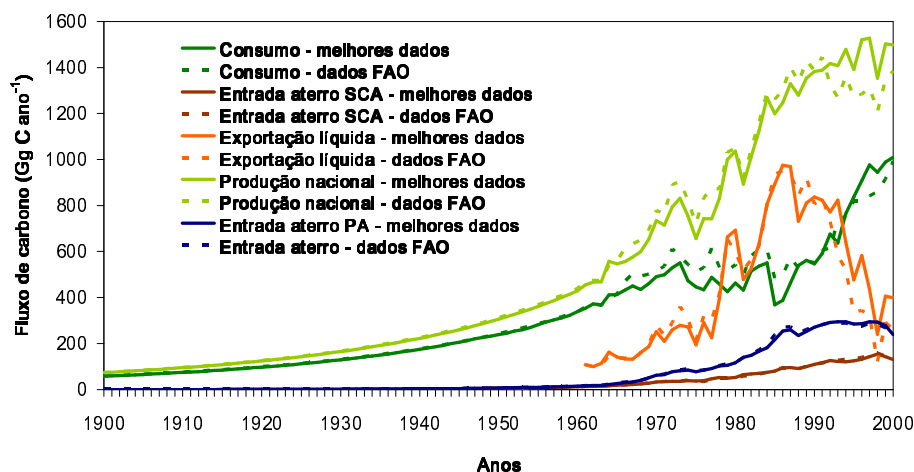


Figura 6.48 - Fluxos de entrada de carbono nos reservatórios de produtos em uso e em aterro na *stock-change approach* (SCA) e na *production approach* (PA) e exportação líquida total de carbono, utilizando o método B de 3º nível do GPG LULUCF para as diferentes fontes de dados estatísticos de produção e comércio internacional.

A utilização de FDPs uniformes em alternativa às FDPs triangulares provocou um aumento da amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% nas três abordagens, em todo o período analisado (Figura 6.49). Com efeito, a amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% variou entre 48 e 191% na *stock-change approach* (em 1998 e 1990, respectivamente), entre 27 e 88% na *atmospheric-flow approach* (em 1993 e 1998, respectivamente) e entre 50 e 76% na *production approach* (em 1996 e 1998, respectivamente). É de notar que os percentis 2,5 obtidos com a utilização de FDPs uniformes apresentaram valores positivos em todo o período, significando que houve sempre remoção de carbono.

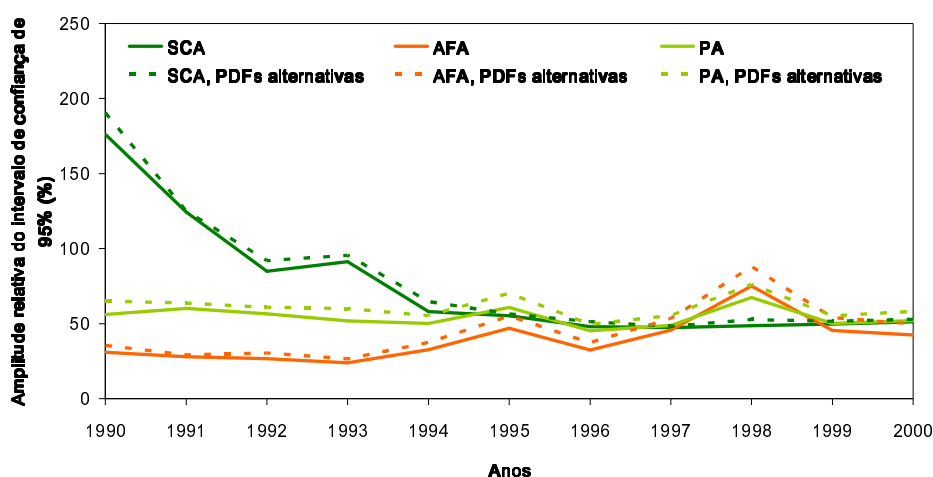


Figura 6.49 - Resultados da análise de sensibilidade no método B de 3º nível do GPG LULUCF: influência do tipo de FDP na análise de incerteza; SCA = *stock-change approach*, AFA = *atmospheric-flow approach*, PA = *production approach*.

6.3.4. Comparação dos métodos

Nas Figuras 6.50, 6.51 e 6.52 são comparados os valores obtidos para a remoção de carbono no período compreendido entre os anos 1990 e 2000, utilizando os diferentes métodos, de acordo com as três abordagens. O método de Winjum *et al.* (1998) originou valores de remoção de carbono superiores aos dos outros métodos, para a *stock-change approach* e a *production approach*. Pelo contrário, para a *atmospheric-flow approach*, conduziu a valores inferiores, por não considerar na exportação líquida todos os materiais incluídos nos outros métodos, em especial a pasta de madeira, que constituiu o principal produto exportado no período em análise.

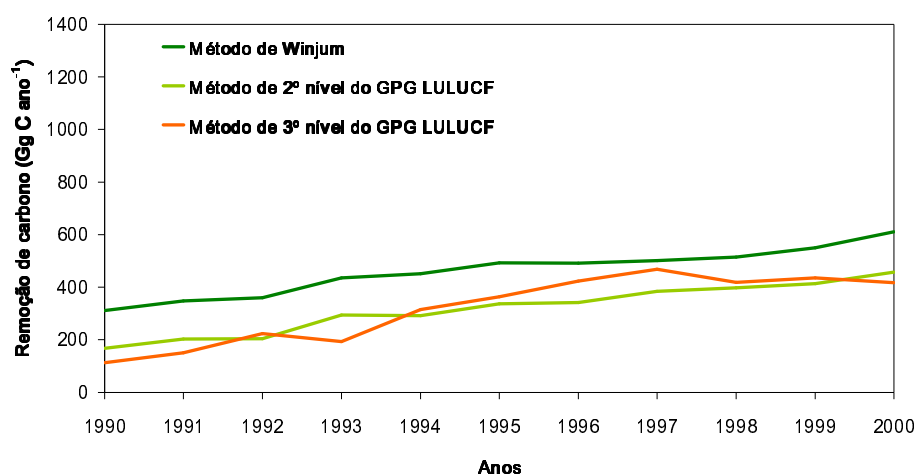


Figura 6.50 - Remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, de acordo com a *stock-change approach*, utilizando o método de Winjum *et al.* (1998), o método de 2º nível do GPG LULUCF e o método B de 3º nível do GPG LULUCF.

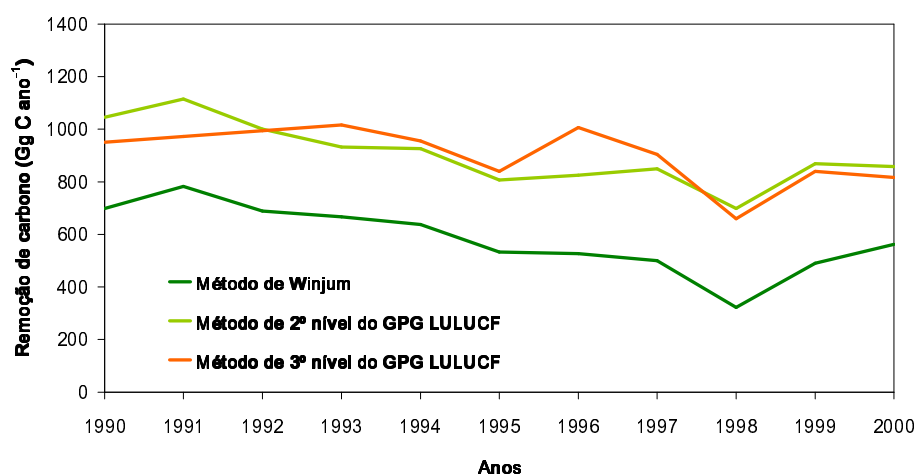


Figura 6.51 - Remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, de acordo com a *atmospheric-flow approach*, utilizando o método de Winjum *et al.* (1998), o método de 2º nível do GPG LULUCF e o método B de 3º nível do GPG LULUCF.

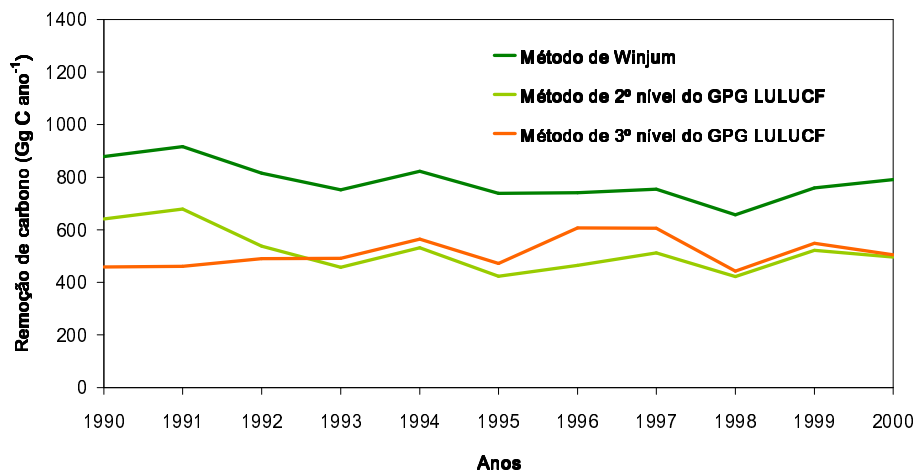


Figura 6.52 - Remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, de acordo com a *production approach*, utilizando o método de Winjum *et al.* (1998), o método de 2º nível do GPG LULUCF e o método B de 3º nível do GPG LULUCF.

Os valores de remoção de carbono determinados para as três abordagens com os métodos de 2º e 3º níveis do GPG LULUCF foram muito semelhantes, não havendo uma tendência para que um método seja mais favorável que o outro. Contudo, se no método de 2º nível os dados estatísticos de produção e comércio internacional da FAO forem substituídos pelos “melhores” dados disponíveis, utilizados no método B de 3º nível, o primeiro método origina valores de remoção de carbono superiores aos calculados com o segundo método (Figura 6.53).

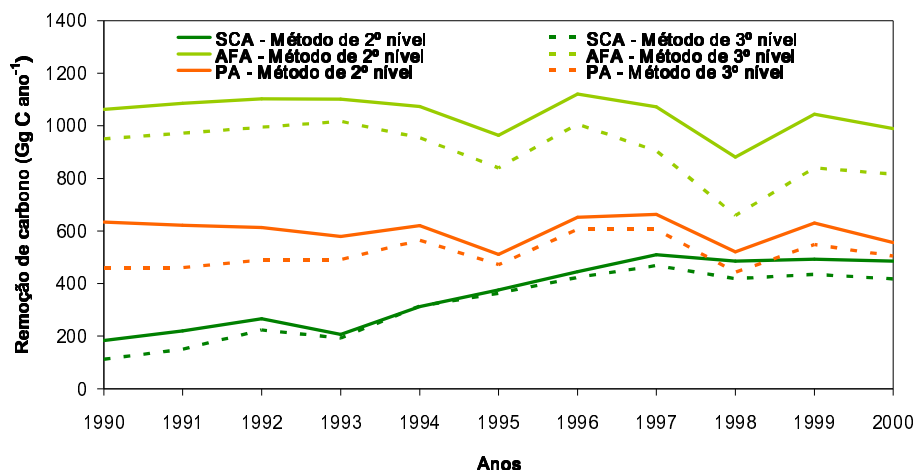


Figura 6.53 - Remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, utilizando o método de 2º nível do GPG LULUCF e o método B de 3º nível do GPG LULUCF com os “melhores” dados disponíveis, de acordo com a *stock-change approach* (SCA), a *atmospheric-flow approach* (AFA) e a *production approach* (PA).

As Figura 6.54, 6.55 e 6.56 apresentam as amplitudes do intervalo de confiança de 95% (diferença entre os percentis 97,5 e 2,5) associadas à remoção de carbono no período de 1990 a 2000, para os diferentes métodos e abordagens analisados.

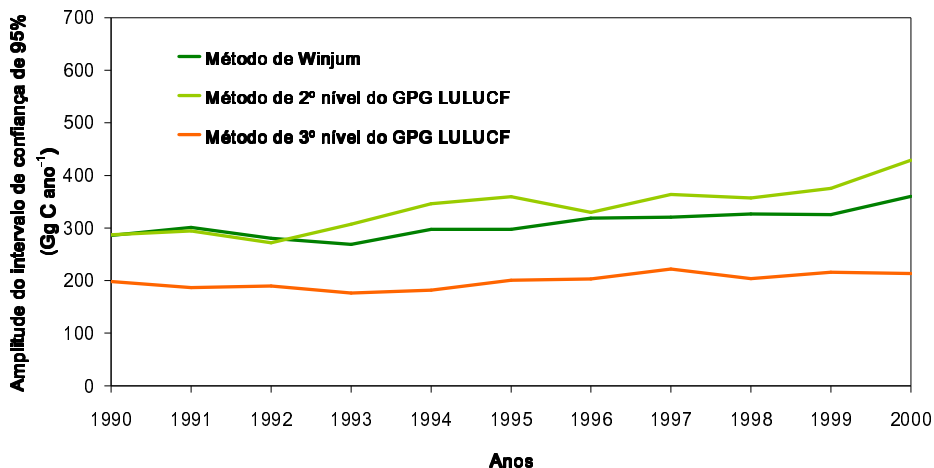


Figura 6.54 - Amplitude do intervalo de confiança de 95% associada à remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, de acordo com a *stock-change approach*, utilizando o método de Winjum *et al.* (1998), o método de 2º nível do GPG LULUCF e o método B de 3º nível do GPG LULUCF.

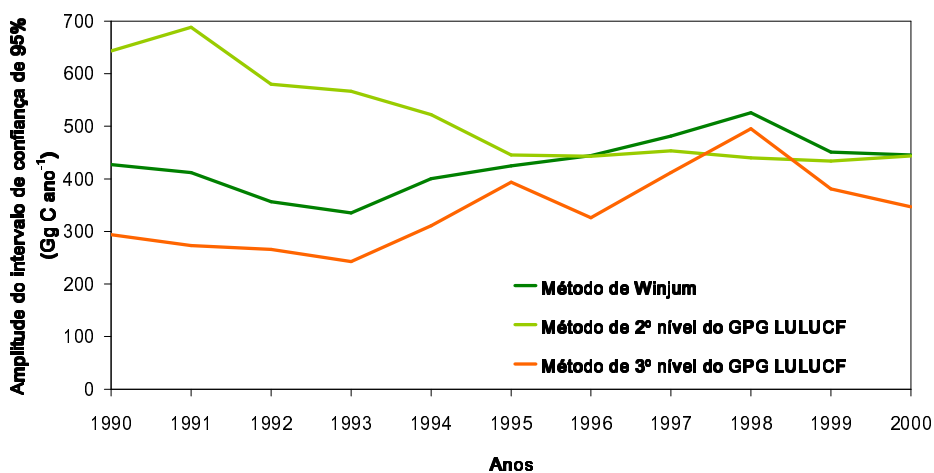


Figura 6.55 - Amplitude do intervalo de confiança de 95% associada à remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, de acordo com a *atmospheric-flow approach*, utilizando o método de Winjum *et al.* (1998), o método de 2º nível do GPG LULUCF e o método B de 3º nível do GPG LULUCF.

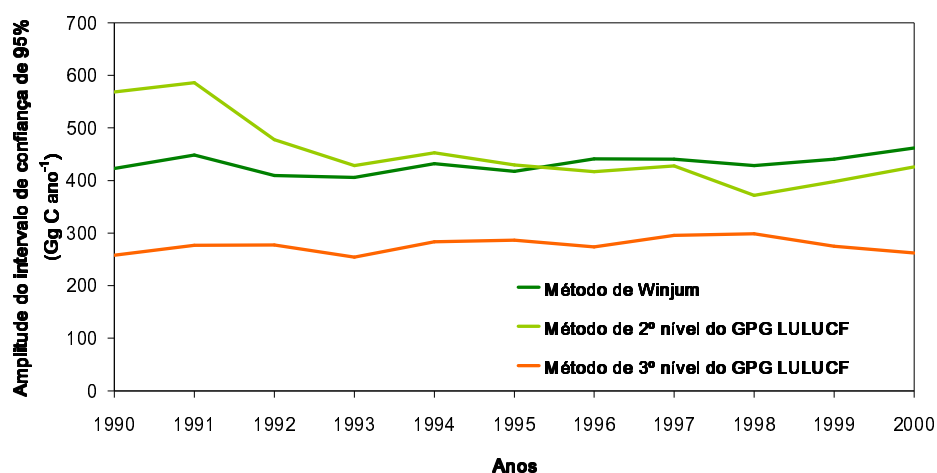


Figura 6.56 - Amplitude do intervalo de confiança de 95% associada à remoção de carbono em Portugal no período 1990-2000, de acordo com a *production approach*, utilizando o método de Winjum *et al.* (1998), o método de 2º nível do GPG LULUCF e o método B de 3º nível do GPG LULUCF.

O método B de 3º nível do GPG LULUCF é aquele em que a incerteza associada aos resultados foi menor, independentemente da abordagem considerada, excepto no ano 1998 com a *atmospheric-flow approach*. Neste método, a amplitude do intervalo de confiança de 95% foi menor na *stock-change approach*, variando entre 176 e 222 Gg C ano⁻¹. Na *production approach* esta amplitude variou entre 254 e 298 Gg C ano⁻¹, apresentando uma tendência para ser menor do que a amplitude associada à *atmospheric-flow approach*, embora entre os anos 1991 e 1993 sejam semelhantes. A *atmospheric-flow approach* apresentou uma gama de variação das amplitudes do intervalo de confiança de 95% mais alargada, entre 243 e 495 Gg C ano⁻¹, devido à incerteza adicional introduzida pelo termo da exportação líquida.

No método de 2º nível do GPG LULUCF, a *stock-change approach* foi também a abordagem em que se obtiveram valores menores da amplitude do intervalo de confiança de 95% (variaram entre 272 e 429 Gg C ano⁻¹), seguindo-se a *production approach* (com uma gama de variação entre 371 e 586 Gg C ano⁻¹) e, por fim, a *atmospheric-flow approach* (com uma gama de variação entre 434 e 689 GgC ano⁻¹).

Por seu lado, no método de Winjum *et al.* (1998), a *stock-change approach* foi, mais uma vez, aquela que conduziu a valores inferiores da amplitude do intervalo de confiança de 95% (entre 269 e 360 Gg C ano⁻¹). Neste método, a amplitude do intervalo de confiança de 95% na *production approach* variou entre 405 e 448 Gg C ano⁻¹ e na *atmospheric-flow approach* variou entre 335 e 526 Gg C ano⁻¹, não havendo uma tendência válida em todo o período analisado para que uma abordagem predomine sobre a outra.

6.4. Discussão

Neste capítulo foi determinada a remoção de carbono associada aos produtos florestais de acordo com a *stock-change approach*, a *atmospheric-flow approach* e a *production approach*, utilizando três métodos distintos: o método de Winjum *et al.* (1998), o método de 2º nível do GPG LULUCF e o método B de 3º nível do GPG LULUCF. Este último método foi desenvolvido no âmbito deste trabalho, enquanto os dois primeiros métodos foram propostos por outros autores.

Uma vez que não existe recolha sistemática de dados de produção de produtos finais em Portugal, foi necessário efectuar uma simplificação comum a todos os métodos, que consistiu em considerar que a remoção de carbono associada aos produtos finais é igual à remoção de carbono associada aos produtos semi-processados. Esta simplificação pode originar distorções nos resultados da *stock-change approach* e da *atmospheric-flow approach* se houver comércio internacional de produtos finais, na medida em que, nesse caso, a remoção de carbono é alocada ao país que produz os produtos finais e não ao país onde são consumidos, como é suposto nestas abordagens. No entanto, em Portugal, o impacto desta simplificação é reduzido, já que o fluxo de carbono associado à importação e exportação de produtos finais é pequeno quando comparado com o fluxo de carbono associado ao consumo de produtos semi-processados (Figura 6.39).

O método de Winjum *et al.* (1998) foi aquele que originou valores de remoção de carbono mais elevados para a *stock-change approach* e a *production approach*. No entanto, é de esperar que esses valores estejam estimados por excesso, pois a suposição efectuada de que as emissões resultantes da decomposição de produtos consumidos/produzidos antes de 1961 são negligenciáveis, resultou numa provável sobre-estimativa da remoção de carbono associada à madeira serrada, aos painéis de madeira e ao papel e cartão, já que a estes produtos foram atribuídos tempos de vida de 100, 50 e 100 anos, respectivamente, que excedem o período abrangido pelos dados estatísticos de produção e comércio da FAO (40 anos). Contudo, esta sobre-estimativa deve ter pouca expressão no caso dos painéis de madeira e do papel e cartão, já que o consumo/produção destes produtos antes do ano 1961 deve ter sido baixo (Figura 6.9). Pelo contrário, é expectável que o consumo/produção de madeira serrada antes do ano 1961 fosse elevado (Figura 6.9), resultando em emissões importantes para o período de 1990 a 2000. Neste período apenas foram contabilizadas as emissões correspondentes a 30-40 anos, ou seja, menos de metade do tempo de vida da madeira serrada.

Jäkel *et al.* (1999) aplicaram o método de Winjum *et al.* (1998) a Portugal, tendo considerado que o consumo e a produção de produtos florestais evoluiu de modo exponencial antes do ano 1961, embora não refiram qual a taxa de crescimento adoptada, e obtiveram valores de remoção de carbono nos produtos florestais para o ano 1990 inferiores aos estimados no presente estudo

(zero com a *stock-change approach*, cerca de 500 Gg C ano⁻¹ com a *atmospheric-flow approach* e cerca de 400 Gg C ano⁻¹ com a *production approach*). É, no entanto, importante referir que estes autores introduziram uma alteração adicional no método de Winjum *et al.* (1998), que consistiu em considerar apenas 25% de carbono no papel e cartão, cujo efeito se traduz também numa diminuição da remoção de carbono, mas que não é suficiente para atingir os valores reportados por Jäkel *et al.* (1999).

Na *atmospheric-flow approach*, o método de Winjum *et al.* (1998) conduziu a valores de remoção de carbono inferiores aos dos outros dois métodos, principalmente porque não considera o fluxo de carbono associado à exportação líquida de pasta de madeira, o produto com maior representatividade na exportação líquida total. Deste modo, o método assume que o carbono presente na pasta exportada é emitido para a atmosfera no país onde é produzida e no ano da sua produção. O mesmo sucede em relação a outras matérias-primas de produtos florestais que não a madeira em bruto, nomeadamente aparas e partículas, resíduos de madeira, papel recuperado e pasta de fibra recuperada. Do mesmo modo, este método também não tem em conta o facto de os produtos florestais consumidos poderem ser produzidos a partir de outros materiais importados para além da madeira.

O método de Winjum *et al.* (1998) contabiliza a remoção de carbono associada aos produtos produzidos a partir de outras fibras vegetais que não a madeira (embora não considere a exportação líquida destes materiais na *atmospheric-flow approach*), mas no caso específico de Portugal estes produtos não têm representatividade.

A consideração de taxas de decomposição lineares no método de Winjum *et al.* (1998) representa um problema na análise de incerteza pelo método de Monte Carlo pois, durante a simulação, o período que origina emissões num determinado ano mantém-se constante, não sendo ajustado consoante aumenta ou diminui a taxa de decomposição dos produtos. Logo, a remoção de carbono é estimada por defeito quando a taxa de decomposição aumenta e é estimada por excesso quando a taxa de decomposição diminui.

No método de Winjum *et al.* (1998) foram utilizados valores *default* para os parâmetros de entrada, alguns dos quais parecem pouco adequados, razão pela qual a incerteza associada a este método foi das mais elevadas. O valor *default* da fracção de carbono no papel e cartão (0,50) é superior ao valor médio fornecido pela indústria (0,34), tendo um efeito significativo no cálculo por excesso da remoção de carbono nos produtos florestais em Portugal, onde o papel e cartão foi um dos produtos que mais contribuiu para essa remoção.

No método de 2º nível do GPG LULUCF são igualmente usados valores *default* para os parâmetros de entrada, apresentando, do mesmo modo, níveis de incerteza elevados que, no entanto, na *stock-change approach* e em alguns anos das outras abordagens, ficam aquém dos

previstos pelo GPG LULUCF para este método (superiores a $\pm 50\%$). Porém, são sempre superiores aos $\pm 21\%$ obtidos por Skog *et al.* (2004), que aplicaram este método para determinar a remoção de carbono nos Estados Unidos, usando a *stock-change approach*. Também neste método é sugerido um valor demasiado elevado para a fracção de carbono no papel e cartão (0,50), tendo efeitos significativos nos resultados. Por outro lado, o facto de ser considerado um valor único para a massa volúmica da madeira sólida, não tendo em conta as especificidades de cada material, origina uma gama de incerteza elevada para este parâmetro.

É de referir que o método de 2º nível do GPG LULUCF apresenta outras limitações que, no caso específico de Portugal, e no período de 1990 a 2000, têm uma influência limitada na remoção total de carbono. Assim, este método não considera a outra madeira industrial, que foi responsável por uma pequena remoção (inferior a 5 Gg C ano^{-1}) ou emissão (inferior a 40 Gg C ano^{-1}) de carbono. Além disso, este método também não considera a casca presente na madeira em bruto importada e exportada no âmbito da *atmospheric-flow approach*, cujo carbono a ela associado variou entre 1 e 50 Gg C ano^{-1} nos outros métodos.

Os valores de remoção de carbono associados aos produtos em uso no ano 2000, em Portugal, obtidos por Pingoud *et al.* (2003) por aplicação do método de 2º nível do GPG LULUCF, são semelhantes aos calculados no presente trabalho com a *stock-change approach* e a *atmospheric-flow approach*, diferindo de forma negativa dos estimados com a *production approach*. Esta diferença na *production approach* resulta principalmente do facto de aqueles autores não considerarem a remoção de carbono associada ao papel fabricado a partir de pasta exportada (produzida a partir de madeira nacional).

No desenvolvimento do método B de 3º nível do GPG LULUCF, as limitações subjacentes aos outros métodos foram suprimidas, mas foi mantido um nível de complexidade baixo, embora superior ao dos outros dois métodos, pois o aumento da complexidade não torna os modelos de cálculo necessariamente mais fiáveis, podendo mesmo dificultar a obtenção dos parâmetros de entrada (Pingoud *et al.*, 2003). Neste método, as incertezas associadas à remoção de carbono pelos produtos florestais foram, de um modo geral, as mais baixas, já que foram usados como dados de entrada valores específicos das condições portuguesas. Mesmo assim, a incerteza associada a alguns destes dados foi elevada, devido à sua variabilidade natural (por exemplo, na massa volúmica ou na fracção de casca da madeira em bruto) e pela insuficiência de informação (como é o caso das taxas de decomposição dos produtos florestais em uso e em aterro).

No método B de 3º nível do GPG LULUCF foram usados os “melhores” dados estatísticos de produção e de comércio internacional seleccionados de entre diferentes fontes. A utilização destes dados traduziu-se numa tendência para o aumento da remoção de carbono nos produtos florestais face à utilização de dados da FAO, variável entre 19 e $156 \text{ Gg C ano}^{-1}$ com a *stock-change*

approach, entre 7 e 360 Gg C ano⁻¹ com a *atmospheric-flow approach* e entre 30 e 216 Gg C ano⁻¹ com a *production approach*. Apenas se registaram decréscimos no ano 1991, com a *production approach*, e no ano 1993, com a *atmospheric-flow approach*, de 20 e 57 Gg C ano⁻¹, respectivamente. Nos outros métodos houve também uma tendência para os “melhores” dados conduzirem a resultados de remoção de carbono mais favoráveis para a maioria dos anos. As diferenças entre os dois tipos de dados, que afectaram os resultados da *stock-change approach* de forma mais significativa, estão associadas ao consumo de painéis a partir do início da década de 90 (sendo superior no caso dos “melhores” dados) e ao consumo de madeira serrada nas décadas de 70 e 80 (sendo inferiores no caso dos “melhores” dados, resultando, portanto, em menores emissões da decomposição deste produto nos anos mais recentes). A principal diferença nos dois tipos de dados, que afectou os resultados da *production approach*, foi a produção de painéis a partir de madeira nacional desde o início da década de 90, sendo superior quando foram usados os “melhores” dados. Por fim, as diferenças a apontar nos dois tipos de dados, que mais afectaram os resultados da *atmospheric-flow approach*, foram, para além das referidas para a *stock-change approach*, os valores inferiores de importação líquida de madeira em bruto durante todo o período obtidos com os “melhores” dados e os valores superiores de exportação líquida de madeira serrada, painéis e, em alguns anos, papel e cartão, também obtidos com este tipo de dados.

Importa ainda sublinhar que no método B de 3º nível do GPG LULUCF, na *atmospheric-flow approach*, ao termo da exportação líquida de produtos florestais foi acrescentada a exportação líquida de produtos finais de madeira e de papel, abrangendo assim a totalidade do comércio internacional de materiais com origem na floresta, como é recomendado por alguns autores (Flugsrud *et al.*, 2001; Pingoud *et al.*, 2003).

Na aplicação da *production approach* foram encontradas dificuldades adicionais face às outras abordagens, dado requerer o conhecimento do ciclo de vida da madeira nacional cortada, dentro e fora do país. Na prática, é muito difícil, senão impossível, caracterizar o destino da madeira e dos produtos nacionais em todos os países onde são consumidos, o que levou à exclusão desta abordagem em alguns estudos (Jaakko Pöyry Consulting Asia-Pacific, 1999; Hashimoto *et al.*, 2002). Um modo pragmático de ultrapassar esta dificuldade, adoptado por vários autores (Harmon *et al.*, 1996; Pingoud *et al.*, 1996; Apps *et al.*, 1999; Pingoud *et al.*, 2003), é assumir que o destino da madeira exportada é semelhante ao destino da madeira consumida no país e que o destino dos produtos produzidos a partir de madeira nacional é semelhante ao destino dos produtos consumidos no país, procedimento que foi adoptado neste estudo.

A incerteza determinada no presente trabalho diz respeito à incerteza associada aos parâmetros de entrada nos diferentes métodos. Por seu lado, a incerteza associada aos próprios algoritmos de cálculo é de difícil quantificação (Rypdal e Winiwarter, 2001; IPCC, 2003), mas é de esperar que

seja superior na *production approach* do que nas outras abordagens, atendendo à necessidade de efectuar aproximações adicionais, tal como foi anteriormente referido.

De um modo geral, as principais fontes da incerteza associada aos valores calculados para a remoção de carbono coincidiram em todos os métodos. Assim, os parâmetros (ou grupo de parâmetros) que mais contribuíram para essa incerteza foram os dados estatísticos de produção e comércio internacional, a massa volúmica dos produtos florestais e a taxa de decomposição dos produtos em uso (ou conjuntamente em uso e aterro, no caso do método de Winjum *et al.* (1998)). Nos dois métodos do GPG LULUCF, foi também importante o contributo da fracção de produtos florestais enviada para aterro. Estes resultados são concordantes com os obtidos por Skog *et al.* (2004), que aplicaram o método de 2º nível aos Estados Unidos. Segundo estes autores, as maiores fontes de incerteza, que no seu conjunto contribuíram para 75% da incerteza total, foram os dados estatísticos de produção e comércio internacional de produtos de madeira sólida, o factor de conversão do volume de madeira sólida para massa de carbono e a fracção de produtos florestais enviada para aterro.

6.5. Conclusões

As principais conclusões a reter do trabalho desenvolvido no âmbito do presente capítulo são:

- no período compreendido entre os anos 1990 e 2000, independentemente da abordagem e do método de cálculo considerados, os produtos florestais promoveram a remoção de carbono da atmosfera;
- a remoção de carbono associada aos produtos florestais determinada com o método de Winjum *et al.* (1998), no período de 1990 a 2000, variou entre 310 e 611 Gg C ano⁻¹ com a *stock-change approach*, entre 322 e 783 Gg C ano⁻¹ com a *atmospheric-flow approach* e entre 657 e 916 Gg C ano⁻¹ com a *production approach*. Contudo, os valores obtidos para a *stock-change approach* e a *production approach* devem estar estimados por excesso, pois este método assume que as emissões resultantes da decomposição de produtos consumidos/produzidos antes de 1961 são negligenciáveis, o que não parece ser correcto no caso da madeira serrada. Por outro lado, os valores da *atmospheric-flow approach* estão calculados por defeito, pois este método não considera a exportação líquida de carbono na sua totalidade, desprezando o principal material exportado no período em análise, ou seja, a pasta de madeira;
- a aplicação do método de 2º nível do GPG LULUCF conduziu a valores de remoção de carbono associados aos produtos florestais que, no período de 1990 a 2000, variaram entre

- 167 e 457 Gg C ano⁻¹ com a *stock-change approach*, entre 699 e 1115 Gg C ano⁻¹ com a *atmospheric-flow approach* e entre 422 e 679 Gg C ano⁻¹ com a *production approach*;
- o método B de 3º nível do GPG LULUCF originou valores de remoção de carbono associados aos produtos florestais, no mesmo período, que oscilaram entre 112 e 469 Gg C ano⁻¹ com a *stock-change approach*, entre 659 e 1016 Gg C ano⁻¹ com a *atmospheric-flow approach* e entre 443 e 606 Gg C ano⁻¹ com a *production approach*;
 - o papel e cartão apresentou uma contribuição importante para a remoção de carbono em todos os métodos, sendo que nos métodos do GPG LULUCF, que fazem a distinção entre os produtos em uso e em aterro, o papel e cartão em aterro foi especialmente significativo; os painéis de madeira foram também importantes no método B de 3º nível do GPG LULUCF, sendo que, no método de 2º nível do GPG LULUCF, os produtos de madeira sólida em uso, que incluem os painéis juntamente com a madeira serrada, também desempenham um papel significativo;
 - a *atmospheric-flow approach* foi a abordagem que originou valores de remoção de carbono mais favoráveis nos dois métodos do GPG LULUCF pelo facto de Portugal ter sido um exportador líquido de carbono. Por sua vez, a remoção de carbono foi superior com a *production approach* do que com a *stock-change approach* em todos os métodos, porque houve exportação líquida de produtos florestais que tiveram como matéria-prima principal a madeira nacional;
 - a abordagem para a qual foram obtidas menores amplitudes absolutas do intervalo de confiança de 95%, em todos os métodos, foi a *stock-change approach* (embora as amplitudes relativas do intervalo de confiança de 95% quase nunca sejam as menores porque dependem dos valores obtidos para a remoção de carbono). Em oposição, a *atmospheric-flow approach* tende a apresentar as maiores amplitudes absolutas do intervalo de confiança de 95%, devido à consideração do termo adicional da exportação líquida (embora no método de Winjum *et al.* (1998) e no método B de 3º nível do GPG LULUCF seja superada pela *production approach* em alguns anos);
 - o método B de 3º nível do GPG LULUCF foi aquele em que a incerteza associada aos resultados foi menor, independentemente da abordagem considerada (a única excepção foi no ano 1998 para a *atmospheric-flow approach*);
 - os parâmetros para os quais a melhoria da qualidade dos dados se poderá traduzir numa redução efectiva da incerteza associada à remoção de carbono nos produtos florestais são: os dados estatísticos de produção e comércio internacional, a massa volúmica dos produtos florestais, a taxa de decomposição dos produtos em uso (ou conjuntamente em uso e aterro no caso do método de Winjum *et al.* (1998)) e a fracção de produtos florestais enviada para aterro;

- a utilização dos “melhores” dados estatísticos de produção e de comércio internacional conduziram, no geral, a resultados de remoção de carbono mais favoráveis do que os obtidos com os dados da FAO, em todos os métodos e abordagens;
- a incerteza associada à remoção de carbono nos produtos florestais foi influenciada não só pelo intervalo de incerteza associado aos dados de entrada, mas também pela forma das FDPs.

Capítulo 7

Balanço de gases com efeito de estufa no sector florestal do eucalipto e do pinheiro bravo

7.1. Introdução

Na determinação do balanço de GEEs do sector florestal devem ser tomadas em consideração as remoções e as emissões de GEEs em toda a cadeia de utilização da madeira, desde a floresta até ao destino final dos produtos florestais, incluindo as associadas ao uso de combustíveis fósseis. Todavia, são poucos os estudos publicados em que todas estas componentes são avaliadas.

Num desses estudos, realizado por Pingoud *et al.* (1996), foi contabilizado o balanço de GEEs no sector florestal finlandês, para o ano de 1990. Estes autores estimaram a variação dos *stocks* de carbono na floresta e nos produtos florestais em uso e em aterro, produzidos a partir de madeira finlandesa. Além disso, determinaram as emissões de carbono resultantes da queima de combustíveis fósseis consumidos no corte florestal, no transporte de madeira e produtos, nas indústrias florestais e na produção da energia adquirida pelas indústrias florestais. Estes autores concluíram que o aumento verificado nos *stocks* de carbono na floresta e nos produtos florestais, da ordem dos 9 e 1,1 Tg C ano⁻¹, respectivamente, foi em grande parte compensado pelas emissões de CH₄ resultantes da decomposição dos produtos em aterro (3,6 Tg C_{eq} ano⁻¹) e pelas emissões de carbono de origem fóssil (2,1 Tg C ano⁻¹), resultando numa remoção líquida de 4,4 Tg C_{eq} ano⁻¹.

Uma análise semelhante foi realizada para o Canadá, considerando a variação dos *stocks* de carbono na floresta e nos produtos florestais em uso e em aterro, produzidos a partir de madeira canadiana, e as emissões de carbono resultantes da queima de combustíveis fósseis associadas ao transporte de madeira da floresta até às fábricas e ao processamento industrial da madeira (Apps *et al.*, 1999; Kurz e Apps, 1999). Os resultados deste estudo indicam que, no período de 1985 a 1989, os *stocks* de carbono na floresta sofreram um decréscimo de 69 Tg C ano⁻¹ enquanto que os produtos florestais acumularam 25 Tg C ano⁻¹. Por outro lado, as emissões de carbono de origem fóssil foram de 14 Tg C ano⁻¹, pelo que o balanço de carbono do sector florestal foi de uma emissão líquida igual a 58 Tg C ano⁻¹. Apesar de o modelo de cálculo desenvolvido por estes autores contabilizar as emissões de CH₄ nos aterros, o seu PAG não foi tomado em consideração.

O balanço de GEEs associado à indústria de pasta e papel ao nível mundial, desde a produção de fibra até ao destino final do papel, foi avaliado por Subak e Craighill (1999), que concluíram que esta indústria contribui de forma significativa para a emissão de GEEs. Assim, apesar de a floresta contribuir para uma remoção de carbono de 43 Tg C ano⁻¹, as emissões de carbono de origem fóssil totalizam 95 Tg C ano⁻¹ (80% das quais resultantes da produção da energia consumida pela indústria, estando as restantes associadas aos transportes e à extracção e preparação dos combustíveis fósseis usados na indústria) e as emissões de CH₄ associadas à decomposição do papel em aterro foram da ordem dos 76 Tg C_{eq} ano⁻¹, pelo que o balanço resultante é de uma emissão líquida de 128 Tg C_{eq} ano⁻¹.

Young *et al.* (1999) quantificaram o balanço de GEEs associado ao ciclo de vida dos papéis produzidos em três fábricas norte-americanas. Uma das fábricas produz vários tipos de papéis branqueados a partir de fibra virgem, outra produz cartão cru a partir de fibra virgem e fibra reciclada e a última produz cartão branqueado para embalagem a partir de fibra virgem. Estes autores verificaram que, no sistema analisado, composto pela floresta que abastece as fábricas, pelas fábricas e pela utilização e destino final dos papéis, a variação dos *stocks* de carbono foi de 1232 Gg C ano⁻¹ na floresta e de 192 Gg C ano⁻¹ no papel em aterro, enquanto que as emissões fósseis das operações florestais e da produção de pasta e papel foram de 632 Gg C ano⁻¹. Estes autores consideraram que a emissão de CH₄ em aterro era pouco significativa pois o biogás era recolhido e queimado. Deste modo, concluíram que o balanço de GEEs era equivalente a uma remoção líquida de carbono de 792 Gg C ano⁻¹.

7.1.1. Objectivo

O objectivo deste capítulo consiste na determinação do balanço de GEEs, nomeadamente CO₂ e CH₄, no sector florestal do eucalipto e do pinheiro bravo em Portugal, para o ano 2000. Nesse

sentido, foram seguidos os fluxos de carbono associados ao ciclo de vida da madeira nacional de eucalipto e de pinheiro bravo, desde a floresta até ao destino final dos produtos florestais, incluindo as emissões de carbono de origem fóssil.

7.2. Metodologia

7.2.1. Floresta

A metodologia utilizada no cálculo da remoção líquida de carbono associada à floresta de eucalipto e de pinheiro bravo foi descrita no Capítulo 3. No presente capítulo foram adoptados os valores de remoção de carbono obtidos para o período entre 1992 e 1998. Embora para o eucalipto a remoção de carbono tenha sido calculada para outros períodos que englobam o ano 2000, foi usado o período entre 1992 e 1998 por uma questão de consistência com o pinheiro bravo.

Os valores usados para o volume total de madeira de eucalipto e de pinheiro bravo cortado no ano 2000 têm como fonte a DGF e foram convertidos para massa de carbono considerando uma massa volúmica de 0,55 Mg seco m⁻³ para o eucalipto (Melo e Pastor, 1982a; Goes, 1991; Valente *et al.*, 1992; Jorge, 1999) e de 0,45 Mg seco m⁻³ para o pinheiro bravo (Melo e Pastor, 1982a; Fonseca, 1989) e um teor de 50% de carbono na biomassa seca (IPCC, 1997b; IPCC, 2003).

As quantidades de madeira exportada e para queima foram obtidas a partir das estatísticas do INE e da DGF, respectivamente. Por sua vez, a repartição da restante madeira pelas diferentes aplicações industriais foi estabelecida com base nos consumos fornecidos pelas indústrias de pasta e de painéis e pela AIMMP.

Os resíduos florestais produzidos aquando do corte, constituídos pelos restantes compartimentos da árvore para além da madeira, foram estimados por aplicação dos factores de expansão da biomassa considerados no Capítulo 3, nomeadamente 1,38 para o eucalipto, considerando uma idade média de corte de 10 anos, e 1,35 para o pinheiro bravo, considerando que o corte ocorre em média aos 45 anos. É de salientar que a casca removida da floresta juntamente com a madeira foi deduzida aos resíduos florestais e adicionada ao fluxo de madeira cortada. Adoptando o mesmo procedimento do Capítulo 3, foi assumido que os resíduos florestais são decompostos no ano em que são produzidos.

A remoção bruta de carbono associada ao crescimento florestal foi calculada pela soma da remoção líquida de carbono na floresta com o fluxo de carbono associado à remoção de biomassa florestal (madeira e resíduos).

A metodologia usada no cálculo das emissões anuais de carbono de origem fóssil resultantes das operações mecanizadas e motomanuais realizadas no âmbito da gestão florestal foi descrita no Capítulo 4.

7.2.2. Indústria de transformação da madeira

A metodologia aplicada na determinação dos fluxos de carbono associados aos diferentes produtos e sub-produtos produzidos na fase de processamento industrial da madeira, bem como às emissões de carbono de origem renovável e fóssil dessa mesma fase, foi descrita no Capítulo 5.

7.2.3. Uso e destino final dos produtos

O consumo, no mercado nacional, de cada tipo de produto produzido a partir de madeira nacional de eucalipto e de pinheiro bravo foi estabelecido considerando as mesmas proporções de repartição entre o mercado nacional e o mercado da exportação da totalidade de produtos, desse mesmo tipo, produzidos em Portugal (o mesmo procedimento foi aplicado aos resíduos gerados na produção de madeira serrada).

Para contabilizar a variação dos *stocks* de carbono associada aos produtos em uso e em aterro, produzidos a partir de madeira nacional de eucalipto e de pinheiro bravo, e consumidos em Portugal, foi utilizado o método B de 3º nível do GPG LULUCF desenvolvido no âmbito do Capítulo 6. Os parâmetros de entrada no modelo de cálculo foram os descritos no Capítulo 6, excepto no que respeita aos dados estatísticos relativos ao consumo dos produtos em Portugal que, na medida do possível, tentam representar apenas o consumo dos produtos produzidos a partir de madeira nacional de eucalipto e de pinheiro bravo (Tabela 7.1).

Para cada tipo de produto, os valores obtidos com o modelo para a variação dos *stocks* de carbono nos vários reservatórios foram definidos em relação ao carbono contido nos produtos consumidos (Tabela 7.1). Estes valores foram adoptados para calcular a variação dos *stocks* de carbono dos produtos produzidos a partir de madeira nacional de eucalipto e de pinheiro bravo.

Tabela 7.1 - Tipo de dados de consumo de produtos florestais usados nos cálculos efectuados com o método B de 3º nível do GPG LULUCF e valores obtidos para a variação dos *stocks* de carbono.

Produto	Variação dos <i>stocks</i> de carbono (% do carbono contido nos produtos consumidos) (*)			Dados de consumo usados no modelo de cálculo (método B de 3º nível do GPG LULUCF)
	Em uso	Em aterro sanitário	Em lixeira	
Papel de impressão e escrita de eucalipto	43	87	-3	Consumo de papel de impressão e escrita produzido em Portugal a partir de 1969 (ano de arranque da primeira fábrica a produzir este tipo de papel a partir de eucalipto)
Outros papéis de eucalipto	4	84	-54	Consumo de outros papéis (papéis sanitários e de uso doméstico, papéis de embalagem e papéis de usos especiais) produzidos em Portugal a partir de 1926 (ano em que teve início a produção de pasta de eucalipto)
<i>Kraftliner</i> de pinheiro bravo	-3	80	-72	Consumo de <i>kraftliner</i> produzido em Portugal a partir de 1974 (ano de arranque da primeira fábrica a produzir este tipo de papel)
Outros papéis de pinheiro bravo	4	84	-54	Consumo de outros papéis (papéis sanitários e de uso doméstico, papéis de embalagem e papéis de usos especiais) produzidos em Portugal a partir de 1900 (a produção de pasta de pinheiro bravo teve início no final do século XIX)
Madeira serrada de eucalipto	43	87	-19	Consumo de madeira serrada de folhosas nacionais produzida em Portugal
Madeira serrada de pinheiro bravo	7	85	-60	Consumo de madeira serrada de resinosas produzida em Portugal
Contraplacados de eucalipto e de pinheiro bravo	47	87	-21	Consumo de contraplacados produzidos em Portugal
Painéis de partículas de eucalipto e de pinheiro bravo	51	88	11	Consumo de painéis de partículas produzidos em Portugal
Painéis de fibras de eucalipto e de pinheiro bravo	42	88	8	Consumo de painéis de fibras produzidos em Portugal

(*) Valores positivos indicam acréscimo dos *stocks* de carbono e valores negativos significam decréscimo dos *stocks* de carbono.

Os fluxos de produtos enviados para cada uma das alternativas possíveis de destino final foram estimados do modo descrito no ponto 6.2.2.4 e no Anexo F. Assim, no ano 2000, o destino final para o papel distribuiu-se do seguinte modo: 58% para aterro sanitário, 14% para lixeira, 6% para

compostagem e 22% para incineração. Por sua vez, a madeira serrada e os painéis apresentaram os seguintes destinos: 3% para aterro sanitário, 1% para lixeira e 96% outros destinos (incluem compostagem, incineração e, eventualmente, abandono como entulho).

Para os produtos enviados para compostagem e incineração e para os produtos abandonados foi considerado que todo o carbono que contêm é emitido para a atmosfera no ano 2000.

As emissões de carbono da decomposição dos produtos em aterro sanitário e em lixeira foram calculadas pela diferença entre a entrada de carbono nesses reservatórios e a respectiva variação dos *stocks* de carbono.

Finalmente, foi considerado que nos aterros sanitários todo o carbono sofre degradação anaeróbia e nas lixeiras apenas 60% do carbono está sujeito a esse tipo de decomposição (IPCC, 1997b; IPCC, 2000a). Além disso, foi assumido que na decomposição anaeróbia 50% do carbono presente no biogás é libertado na forma de CH₄ (IPCC, 1997b; IPCC, 2000a). Face a estes pressupostos, a percentagem de carbono emitida na forma de CH₄ é de 50% nos aterros sanitários e de 30% nas lixeiras. Como já referido no Capítulo 5, 1 kg de carbono emitido na forma de CH₄ equivale a 8,36 kg de carbono emitidos na forma de CO₂.

7.3. Resultados

Os principais fluxos e as variações dos *stocks* de carbono associados ao sector florestal do eucalipto e do pinheiro bravo em Portugal, no ano 2000, são apresentados nas Figuras 7.1 e 7.2, respectivamente.

As aplicações industriais da madeira de eucalipto diferiram consideravelmente das aplicações industriais associadas à madeira de pinheiro bravo. Com efeito, 96% da madeira industrial de eucalipto foi usada na produção de pasta, sendo a restante usada, em proporção semelhante, no fabrico de madeira serrada e de painéis. Em oposição, a maioria da madeira industrial de pinheiro bravo (69%) foi usada para produzir madeira serrada, enquanto 24% foi usada na produção de painéis e apenas 7% na produção de pasta.

Estas diferenças nos padrões de consumo da madeira industrial, aliadas a diferentes rendimentos dos processos industriais e diferentes padrões de exportação dos produtos e de reciclagem de materiais, traduziram-se em estruturas de consumo de produtos florestais muito distintas. Com efeito, do carbono total consumido no sector do eucalipto, cerca de 68% foi na forma de papel, 20% na forma de painéis e 12% na forma de madeira serrada. No sector do pinheiro bravo, a ordem da importância de cada tipo de produto no consumo de carbono é a inversa. A madeira

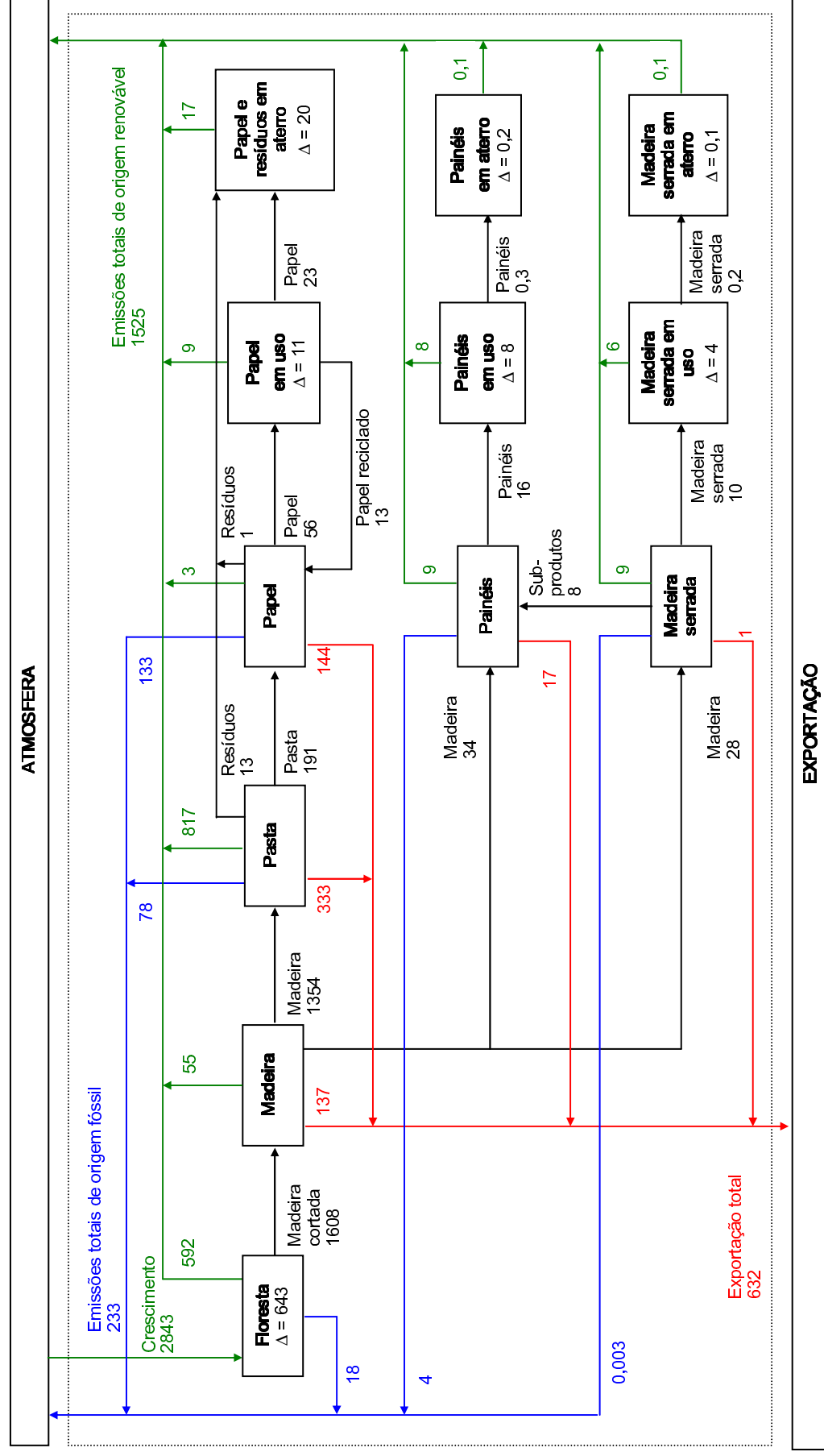


Figura 7.1 - Fluxos e variações dos stocks (Δ) de carbono associados ao sector do eucalipto em Portugal no ano 2000, expressos em Gg C ano⁻¹.

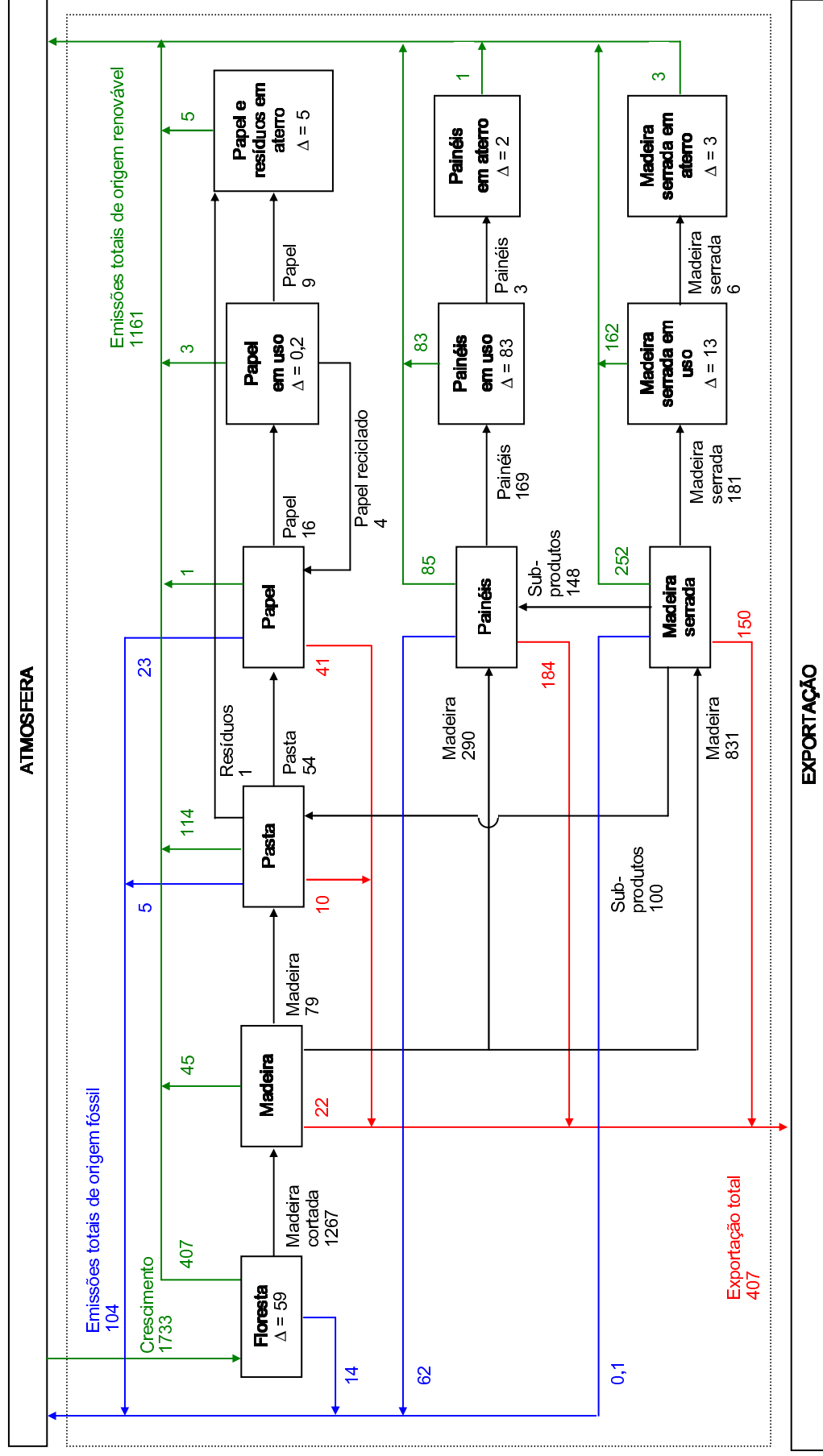


Figura 7.2 - Fluxos e variações dos stocks (Δ) de carbono associados ao sector do pinheiro bravo em Portugal no ano 2000, expressos em Gg C an⁻¹.

serrada representou 50% do carbono consumido, os painéis 46% e o papel apenas 4%. Além disso, do papel produzido a partir de madeira de eucalipto, quase 45% foi de impressão e escrita enquanto o papel produzido a partir de madeira de pinheiro bravo foi todo de embalagem. Do mesmo modo, a representatividade individual dos diferentes tipos de painéis também difere. Nos painéis produzidos a partir de eucalipto, 62% foram de partículas, 22% contraplacados e 16% de fibras, enquanto nos painéis produzidos a partir de pinheiro bravo, 80% foram de partículas e os restantes foram de fibras.

A remoção bruta de carbono associada ao crescimento da biomassa florestal foi de 2843 Gg C ano⁻¹ para o eucalipto e de 1733 Gg C ano⁻¹ para o pinheiro bravo. Ao longo das várias fases que constituem o sector florestal, a maior parte desse carbono é emitida para a atmosfera (54% no sector do eucalipto e 67% no sector do pinheiro bravo), outra parte é exportada na forma de materiais (22% no sector do eucalipto e 23% no sector do pinheiro bravo) e o restante carbono permanece acumulado nos produtos em uso e nos produtos e resíduos industriais em aterro (24% no sector do eucalipto e 10% no sector do pinheiro bravo) (Figura 7.3).

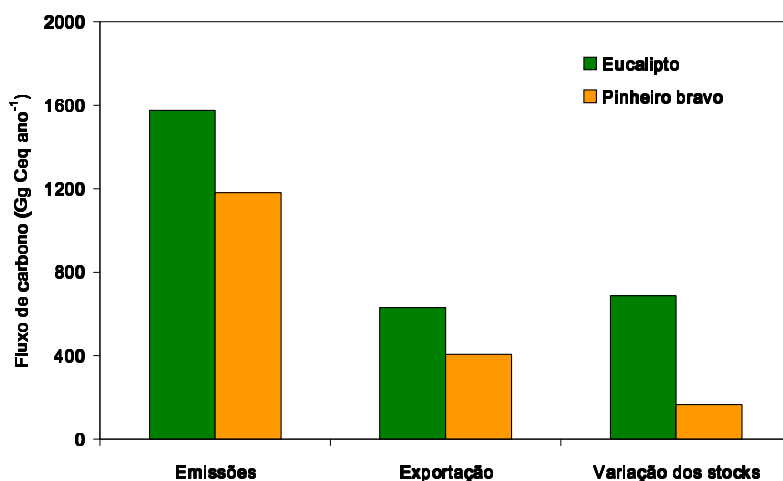


Figura 7.3 - Destino do carbono removido da atmosfera devido ao crescimento florestal, ao longo do sector florestal do eucalipto e do pinheiro bravo, em Portugal, no ano 2000. As emissões reflectem o PAG do CH₄.

As emissões de carbono de origem renovável foram de 1576 e 1181 Gg C_{eq} ano⁻¹, no sector do eucalipto e do pinheiro bravo, respectivamente. As Figuras 7.4 e 7.5 apresentam estas emissões desagregadas por fonte.

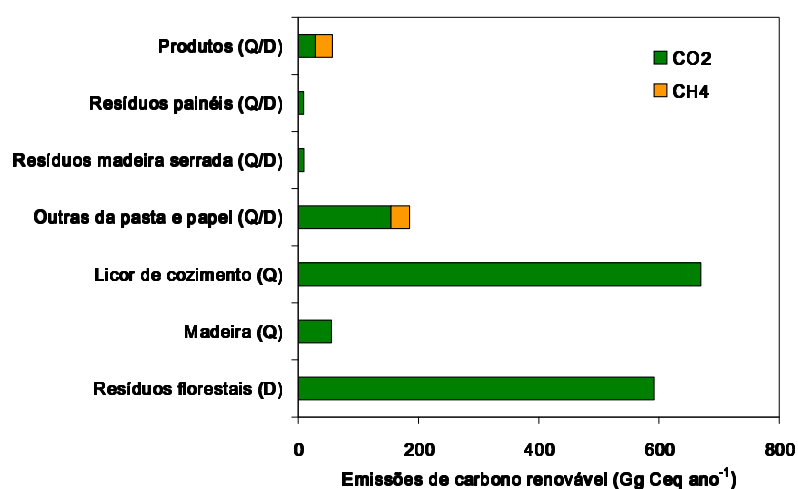


Figura 7.4 - Emissões de carbono de origem renovável no sector do eucalipto, em Portugal, no ano 2000. As emissões reflectem o PAG do CH₄. Q = queima, D = decomposição.

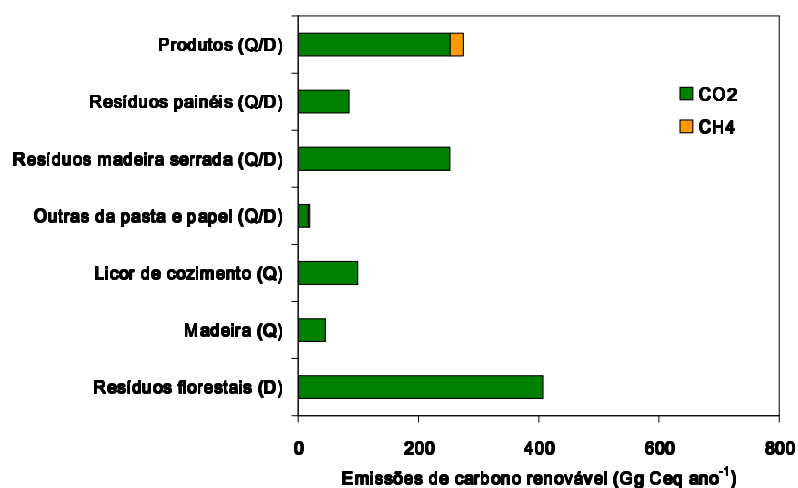


Figura 7.5 - Emissões de carbono de origem renovável no sector do pinheiro bravo, em Portugal, no ano 2000. As emissões reflectem o PAG do CH₄. Q = queima, D = decomposição.

No sector do eucalipto, 42% das emissões totais de carbono de origem renovável tiveram origem na queima do licor de cozimento da madeira na produção de pasta, 38% resultaram da decomposição dos resíduos florestais e 12% foram outras emissões associadas à produção de pasta e papel. As restantes fontes de carbono renovável deste sector contribuíram com menos de 4% cada para as emissões totais.

No sector do pinheiro bravo, a decomposição dos resíduos florestais foi a maior fonte de emissões de carbono de origem renovável, representando 34% das emissões totais. A decomposição/queima dos produtos florestais e dos resíduos gerados na produção de madeira serrada apresentaram também emissões significativas, da ordem dos 23 e 21% das emissões totais do sector, respectivamente. As restantes fontes de carbono renovável deste sector apresentaram contribuições individuais para as emissões totais inferiores a 8%.

As emissões de carbono na forma de CH₄ representaram apenas 2 e 4% das emissões totais de carbono de origem renovável no sector do pinheiro bravo e do eucalipto, respectivamente.

A Figura 7.6 ilustra a contribuição de cada material para a exportação total de carbono, que foi de 632 Gg C ano⁻¹, no sector do eucalipto, e de 407 Gg C ano⁻¹, no sector do pinheiro bravo. No sector do eucalipto, a maior parte do carbono foi exportado na forma de pasta (53%), papel (23%) e madeira (22%), enquanto que no sector do pinheiro bravo foram os painéis e a madeira serrada que contribuíram de modo mais significativo para a exportação de carbono, tendo sido responsáveis por 45 e 34%, respectivamente, da exportação total.

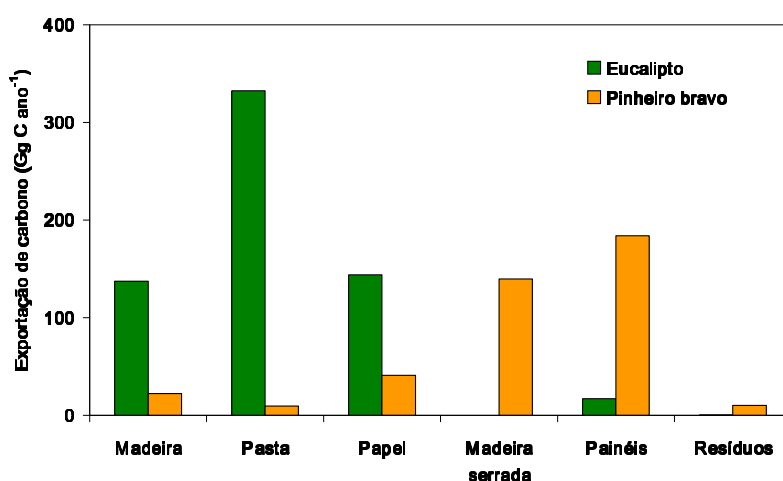


Figura 7.6 - Exportação de carbono no sector florestal do eucalipto e do pinheiro bravo, no ano 2000.

A variação dos *stocks* de carbono no sector do eucalipto totalizou 686 Gg C ano⁻¹, enquanto no sector do pinheiro bravo foi de apenas 165 Gg C ano⁻¹. A contribuição relativa de cada reservatório para estes acréscimos verificados nos *stocks* é apresentada na Figura 7.7.

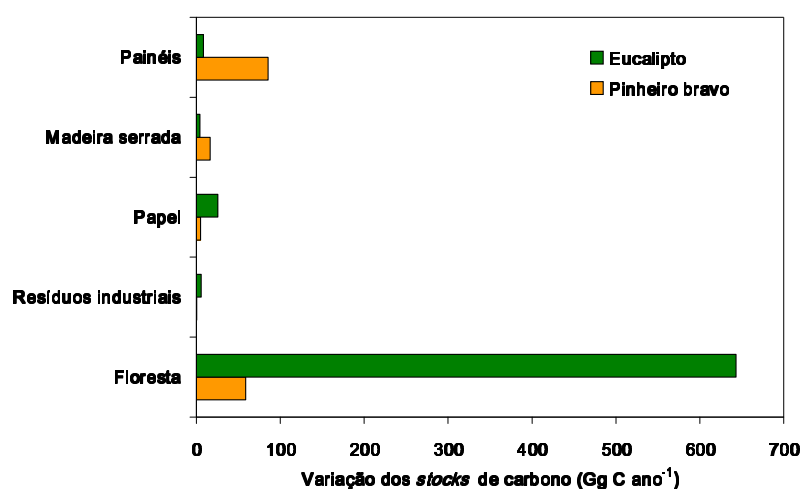


Figura 7.7 - Variação dos *stocks* de carbono no sector florestal do eucalipto e do pinheiro bravo, em Portugal, no ano 2000.

No sector do eucalipto, a floresta acumulou 643 Gg C ano⁻¹, sendo responsável por 94% da variação total dos *stocks*. A acumulação de carbono nos produtos florestais produzidos a partir de madeira de eucalipto foi de 37 Gg C ano⁻¹ (excluindo os resíduos industriais em aterro), correspondendo a 45% do carbono contido nos produtos consumidos. O papel foi o produto que mais contribuiu para este acréscimo nos *stocks* de carbono, acumulando cerca de 25 Gg C ano⁻¹, dos quais 55% foram devidos ao papel depositado em aterro (aterro sanitário e lixeira).

No sector do pinheiro bravo, a contribuição da floresta para o acréscimo total dos *stocks* de carbono foi de apenas 35% (59 Gg C ano⁻¹). A variação dos *stocks* de carbono nos produtos produzidos a partir de pinheiro bravo foi superior à obtida para os produtos produzidos a partir de eucalipto, totalizando 106 Gg C ano⁻¹. Contudo, a percentagem de acumulação de carbono nos produtos relativamente ao carbono presente nos produtos consumidos é de apenas 30% do carbono contido nos produtos consumidos, sendo inferior à percentagem obtida para os produtos produzidos a partir de eucalipto. Este facto resulta das menores percentagens de acumulação de carbono, em relação ao carbono presente nos produtos consumidos, associadas ao papel e à madeira serrada de pinheiro bravo (Tabela 7.1). Os painéis, principalmente em uso, foram responsáveis por cerca de 80% da variação dos *stocks* de carbono nos produtos e 52% da variação dos *stocks* do sector (Figura 7.2).

As emissões de carbono de origem fóssil foram superiores no sector do eucalipto, sendo da ordem dos 233 Gg C ano⁻¹, face a 104 Gg C ano⁻¹ no sector do pinheiro bravo (Figura 7.8), já que a maioria da madeira de eucalipto é usada na produção de papel, que apresenta as maiores

emissões específicas de carbono de origem fóssil (ver Capítulo 5). As emissões de carbono de origem fóssil representam 8 e 13% das emissões totais associadas ao sector do pinheiro bravo e do eucalipto, respectivamente.

No sector do eucalipto, a produção de pasta e papel originou cerca de 90% das emissões de carbono de origem fóssil, enquanto que no sector do pinheiro bravo a principal fonte destas emissões foi a produção de painéis, sendo responsável por 60% das emissões totais de origem fóssil do sector. A contribuição das emissões da floresta foi de cerca de 8 e 13%, no sector do eucalipto e do pinheiro bravo, respectivamente. As emissões decorrentes da produção de madeira serrada foram insignificantes, mesmo no sector do pinheiro bravo, onde constitui o produto mais produzido.

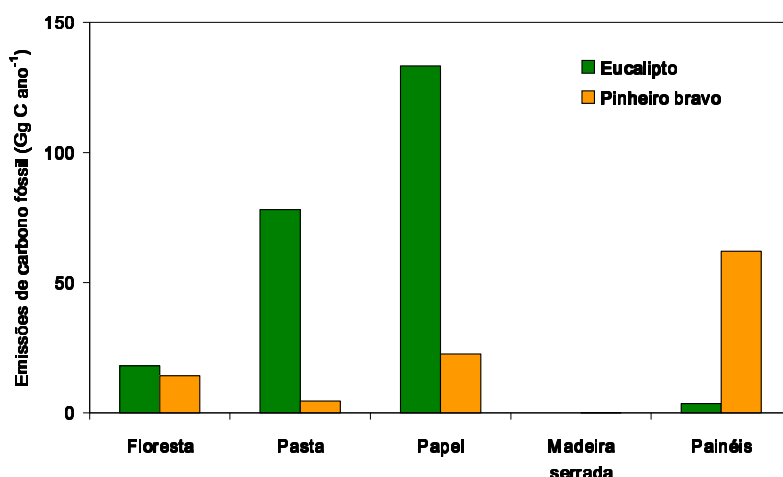


Figura 7.8 - Emissões de carbono com origem fóssil no sector florestal do eucalipto e do pinheiro bravo, em Portugal, no ano 2000.

A remoção de carbono no sector do eucalipto e do pinheiro bravo foi estimada segundo a perspectiva da *stock-change approach* (igual à variação total dos *stocks* de carbono no sector) e da *atmospheric-flow approach* (igual à diferença entre a remoção bruta de carbono na floresta e as emissões totais de carbono resultantes da queima e decomposição da madeira e dos produtos derivados da madeira, dentro das fronteiras nacionais¹). Na Figura 7.9 são apresentados os resultados obtidos com estas duas abordagens, sem considerar o PAG do CH₄. Assim, a remoção

¹ No Capítulo 6 foi demonstrado que a remoção de carbono estimada pela *atmospheric-flow approach* é também equivalente à soma da remoção de carbono dada pela *stock-change approach* com a exportação líquida de carbono.

de carbono no sector do eucalipto (686 e 1318 Gg C ano⁻¹, com a *stock-change approach* e a *atmospheric-flow approach*, respectivamente) superou a remoção de carbono no sector do pinheiro bravo (165 e 572 Gg C ano⁻¹, com a *stock-change approach* e a *atmospheric-flow approach*, respectivamente). Como seria de esperar, devido à exportação de carbono em ambos os sectores, a remoção obtida com a *atmospheric-flow approach* foi superior à obtida com a *stock-change approach*.

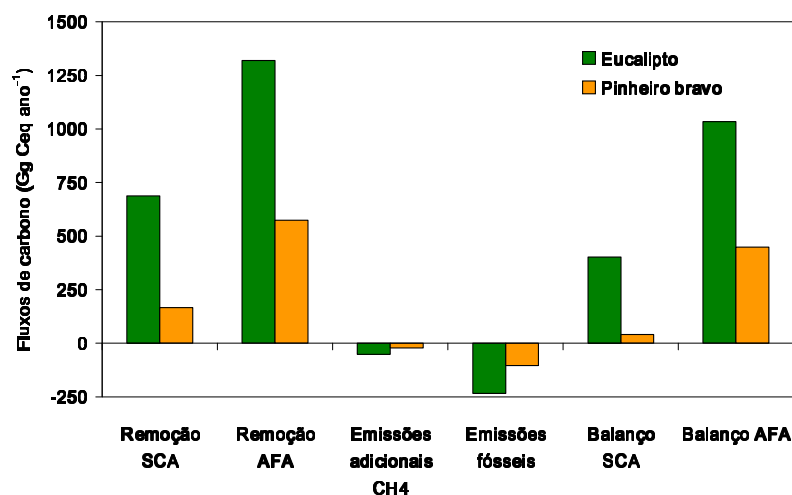


Figura 7.9 - Remoção de carbono estimada pela *stock-change approach* (SCA) e pela *atmospheric-flow approach* (AFA), emissões adicionais de carbono na forma de CH₄, emissões de carbono de origem fóssil e balanço de carbono estimado pela SCA e pela AFA, em Portugal, no ano 2000. Valores positivos indicam remoção de carbono e valores negativos indicam emissão de carbono.

O balanço global de carbono, dado pela remoção de carbono deduzida das emissões adicionais de carbono emitidas na forma de CH₄ e das emissões de carbono de origem fóssil (Figura 7.9) foi de uma remoção líquida de carbono de 401 e 1033 Gg C_{eq} ano⁻¹ no sector do eucalipto, usando a *stock-change approach* e a *atmospheric-flow approach*, respectivamente. No sector do pinheiro bravo, o balanço de carbono foi de uma remoção líquida de 40 e 447 Gg C_{eq} ano⁻¹, com a *stock-change approach* e a *atmospheric-flow approach*, respectivamente.

Apesar de os aterros terem constituído reservatórios crescentes de carbono, da ordem dos 10 e 20 Gg C ano⁻¹, respectivamente no sector do pinheiro bravo e do eucalipto, foram responsáveis por emissões adicionais de carbono, na forma de CH₄, de 21 e 52 Gg C_{eq} ano⁻¹, respectivamente (Figura 7.10). Deste modo, o balanço de carbono nos aterros foi uma emissão líquida de carbono de 11 e 32 Gg C_{eq} ano⁻¹, respectivamente no sector do pinheiro bravo e do eucalipto. Contudo, se em alternativa, os produtos e os resíduos enviados para aterro tivessem sido queimados ou

decompostos aerobicamente, com emissão imediata para a atmosfera de todo o seu carbono, as emissões resultantes seriam superiores às obtidas quando os resíduos e os produtos vão para aterro, sendo de 19 e 37 Gg C ano⁻¹, respectivamente no sector do pinheiro bravo e do eucalipto.

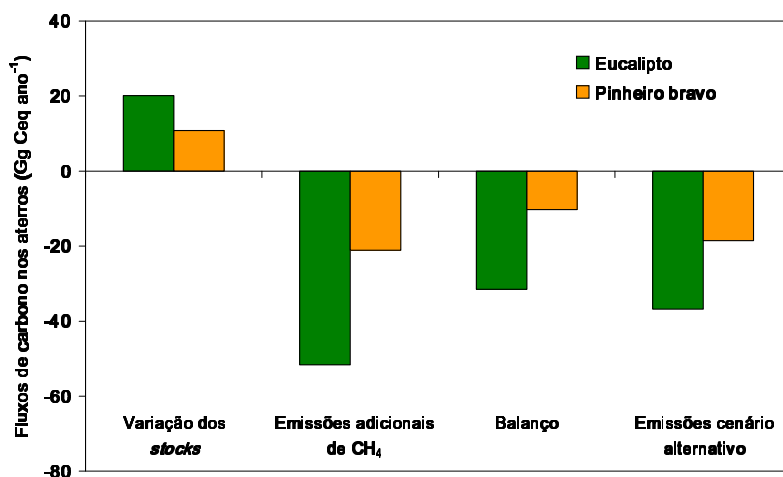


Figura 7.10 - Variação dos *stocks* de carbono nos resíduos e produtos em aterro, emissões adicionais de carbono na forma de CH₄ resultantes da decomposição de resíduos e produtos em aterro, balanço de carbono associado aos resíduos e produtos em aterro e emissões de carbono num cenário alternativo de queima ou decomposição aeróbia dos resíduos e produtos. Valores positivos indicam remoção de carbono e valores negativos indicam emissão de carbono.

7.4. Discussão

Neste capítulo foi efectuado o balanço de GEEs no sector florestal do eucalipto e do pinheiro bravo, dentro das fronteiras nacionais, para o ano 2000.

No sector do eucalipto, a floresta contribuiu com 94% da variação dos *stocks* totais de carbono do sector. São vários os estudos que sugerem que a variação dos *stocks* de carbono nos produtos florestais é relativamente pequena quando comparada com a variação dos *stocks* de carbono na floresta, tanto ao nível global (IPCC, 1995b; Pingoud *et al.*, 2003), como continental (Nabuurs *et al.*, 1997; Nabuurs *et al.*, 2003) ou nacional (Burschel *et al.*, 1993; Pingoud *et al.*, 1996; Skog e Nicholson, 2000; Flugsrud *et al.*, 2001; Poker *et al.*, 2002). Pelo contrário, no sector do pinheiro bravo, em que a variação dos *stocks* de carbono na floresta é relativamente pequena (sendo equivalente a cerca de 9% da variação dos *stocks* de carbono na floresta de eucalipto), os produtos florestais foram responsáveis por 65% da variação dos *stocks* totais do sector. Esta situação ocorre tipicamente quando a área florestada não é muito importante ou quando a floresta

foi sujeita a perturbações, nomeadamente, fogos, doenças ou cortes intensivos (Nabuurs e Sikkema, 1998; Apps *et al.*, 1999; Nabuurs e Sikkema, 2001).

O valor obtido para a variação dos *stocks* de carbono nos produtos florestais produzidos a partir de madeira nacional de eucalipto e de pinheiro bravo, consumidos em Portugal, representa 30% da variação dos *stocks* de carbono associados à totalidade dos produtos produzidos a partir de madeira nacional no ano 2000 (estimada pela *production approach* em 505 Gg C ano⁻¹ no Capítulo 6, aplicando o método B de 3º nível do GPG LULUCF), já que a exportação de carbono é importante, tanto no sector do eucalipto como no do pinheiro bravo, ocorrendo sobretudo na forma de produtos.

Pelo facto de os fluxos de painéis e de madeira serrada para aterro terem sido pouco significativos, o maior acréscimo nos *stocks* de carbono ocorreu durante a fase de uso destes produtos. Já no caso do papel, a maior acumulação de carbono ocorreu no papel em aterro, sendo esta uma situação comum quando o tempo de vida dos produtos em uso é pequeno e, simultaneamente, o fluxo de produtos para aterro é elevado (Karjalainen *et al.*, 1994; Pingoud *et al.*, 1996; Apps *et al.*, 1999; Skog e Nicholson, 2000; Eggers, 2002).

O balanço de carbono efectuado ao nível dos aterros demonstrou que estes, embora acumulem carbono, são fontes efectivas de carbono para a atmosfera na medida em que emitem CH₄, cujo PAG é 23 vezes superior ao PAG do CO₂. Mesmo assim, estas emissões são inferiores às que se libertariam caso os produtos tivessem sido queimados ou compostados. Além disso, as emissões de CH₄ dos aterros poderiam ser minoradas caso houvesse recolha e queima do biogás formado.

A maioria das emissões de carbono de origem fóssil associadas ao sector do eucalipto e do pinheiro bravo resultaram do processamento industrial da madeira. As emissões resultantes das operações florestais constituíram, no máximo, 13% das emissões totais de origem fóssil, um valor próximo dos obtidos em outros estudos (Pingoud *et al.*, 1996; Young *et al.*, 1999; Liski *et al.*, 2001; Manriquez, 2002).

7.5. Conclusões

As principais conclusões a reter do trabalho desenvolvido no âmbito do presente capítulo são:

- o balanço global de carbono no sector do eucalipto e do pinheiro bravo foi de uma remoção líquida de carbono, cuja magnitude dependeu da abordagem considerada. Assim, no sector do eucalipto, a remoção líquida de carbono foi de 401 e 1033 Gg C_{eq} ano⁻¹, usando a *stock-change approach* e a *atmospheric-flow approach*, respectivamente. A remoção líquida de

carbono no sector do pinheiro bravo foi da ordem dos 40 e 447 Gg C_{eq} ano⁻¹, com a *stock-change approach* e a *atmospheric-flow approach*, respectivamente;

- a remoção de carbono obtida com a *stock-change approach* no sector do eucalipto totalizou 686 Gg C ano⁻¹, enquanto que no sector do pinheiro bravo foi de apenas 165 Gg C ano⁻¹. No sector do eucalipto, a floresta desempenhou um papel preponderante no acréscimo dos *stocks* de carbono, enquanto que no sector do pinheiro bravo, os produtos florestais foram preponderantes na acumulação de carbono, proporcionando uma acumulação de carbono superior à dos produtos florestais produzidos a partir de madeira de eucalipto;
- a remoção de carbono obtida com a *atmospheric-flow approach* foi também superior no sector do eucalipto, sendo de 1318 Gg C ano⁻¹, face a 572 Gg C ano⁻¹ para o sector do pinheiro bravo;
- as emissões de carbono de origem fóssil foram de 233 Gg C ano⁻¹ no sector do eucalipto e de 104 Gg C ano⁻¹ no sector do pinheiro bravo. No sector do eucalipto, estas emissões provocaram uma redução da remoção de carbono estimada com a *atmospheric-flow approach* e a *stock-change approach* de 18 e 34%, respectivamente. Por seu lado, no sector do pinheiro bravo, estas emissões conduziram a uma redução da remoção de carbono estimada com a *atmospheric-flow approach* e a *stock-change approach* de 18 e 63%, respectivamente;
- as emissões de carbono na forma de CH₄ representaram apenas 2 e 4% das emissões totais de carbono de origem renovável no sector do pinheiro bravo e do eucalipto, respectivamente, pelo que a sua contribuição para a redução da remoção de carbono foi inferior à das emissões de origem fóssil. Assim, no sector do eucalipto estas emissões induziram uma redução da remoção de carbono estimada com a *atmospheric-flow approach* e a *stock-change approach* de 4 e 8%, respectivamente, enquanto que no sector do pinheiro bravo, a diminuição da remoção de carbono estimada com a *atmospheric-flow approach* e a *stock-change approach* foi de 4 e 13%, respectivamente.

Capítulo 8

Conclusões e sugestões de trabalho futuro

8.1. Conclusões

Nesta tese foram quantificadas as emissões e as remoções dos principais GEEs no sector florestal do eucalipto e do pinheiro bravo em Portugal, desde a floresta até ao destino final dos produtos florestais, incluindo o processamento industrial da madeira. Para o efeito, foram desenvolvidas metodologias de cálculo que têm em consideração as especificidades produtivas e organizacionais destes sectores em Portugal. A incerteza associada aos resultados obtidos, bem como a contribuição para a incerteza de cada parâmetro de entrada nos vários modelos de cálculo, foram avaliadas com base no método de Monte Carlo. As conclusões mais relevantes são as seguintes:

- as florestas de eucalipto e de pinheiro bravo (biomassa aérea) foram sumidouros efectivos de carbono nos períodos analisados. Assim, para a floresta de eucalipto, entre os anos de 1992 e 2000 a remoção média de carbono foi de 862 Gg C ano⁻¹ e nos anos intermédios variou entre 9 Gg C ano⁻¹ (entre 1992 e 1996) e 1912 Gg C ano⁻¹ (entre 1996 e 1998). Para a floresta de pinheiro bravo, a remoção de carbono foi estimada em 59 Gg C ano⁻¹, entre os anos de 1992 e 1998. A incerteza associada aos valores obtidos para a remoção de carbono foi relativamente elevada (a amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% foi, no mínimo, de 75%), sendo influenciada sobretudo pela incerteza no factor de expansão da biomassa e na massa volúmica da madeira e, no caso do pinheiro bravo, também pela incerteza na fracção volumétrica de casca;

- no ano 2000, as emissões totais de carbono de origem fóssil da floresta de eucalipto (18 Gg C ano^{-1}) excederam as da floresta de pinheiro bravo (14 Gg C ano^{-1}) em cerca de 29%, embora ocupando uma área cerca de 30% menor e produzindo apenas mais 5% de madeira, o que reflecte o carácter mais intensivo das actividades de gestão dos eucaliptais. As operações que mais contribuíram para estas emissões foram a gradagem e a extracção da madeira. A amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% associado aos valores obtidos para estas emissões é de 53%, sendo influenciada principalmente pela incerteza associada aos tempos de trabalho necessários para a execução das diversas operações;
- a magnitude das emissões específicas de carbono, de origem renovável e fóssil, no processamento industrial da madeira de eucalipto e de pinheiro bravo varia, de um modo geral, em função do tipo de produto produzido, do tipo de madeira consumida, do nível tecnológico da indústria e do tipo de combustíveis utilizados. Os valores obtidos para o ano 2000, relativos às emissões de origem renovável, variaram entre $0,24 \text{ Gg C por Gg C}$ presente nos painéis produzidos a partir de pinheiro bravo e $1,76 \text{ Gg C}_{\text{eq}} \text{ por Gg C}$ presente no papel produzido a partir de pinheiro bravo. Os valores obtidos para as emissões de origem fóssil, no mesmo ano, variaram entre $3,1 \times 10^{-4} \text{ Gg C por Gg C}$ presente na madeira serrada de eucalipto e $0,82 \text{ Gg C por Gg C}$ presente no papel produzido a partir de eucalipto. A amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% associado às emissões específicas de carbono de origem renovável e fóssil variou entre 17 e 70%, sendo afectada principalmente pela incerteza na fracção de carbono nos materiais no caso das emissões da produção de papel e, no caso particular das emissões da produção de madeira serrada e painéis, pela incerteza na massa volúmica destes produtos e da madeira em bruto;
- o balanço global de carbono no sector do eucalipto e do pinheiro bravo no ano 2000, em Portugal, foi de uma remoção líquida de carbono, cuja magnitude dependeu da abordagem considerada no cálculo da remoção de carbono associada à floresta e aos produtos florestais. Assim, no sector do eucalipto, a remoção líquida de carbono foi de 401 e $1033 \text{ Gg C}_{\text{eq}} \text{ ano}^{-1}$, usando a *stock-change approach* e a *atmospheric-flow approach*, respectivamente. A remoção líquida de carbono no sector do pinheiro bravo foi da ordem dos 40 e $447 \text{ Gg C}_{\text{eq}} \text{ ano}^{-1}$, com a *stock-change approach* e a *atmospheric-flow approach*, respectivamente. No sector do eucalipto, a floresta desempenhou um papel preponderante no acréscimo dos *stocks* de carbono, enquanto que no sector do pinheiro bravo, os produtos florestais foram preponderantes na acumulação de carbono, proporcionando uma acumulação de carbono superior à dos produtos florestais produzidos a partir de madeira de eucalipto. As emissões de carbono de origem fóssil no sector do eucalipto provocaram uma redução da remoção de carbono, estimada com a *atmospheric-flow approach* e a *stock-change approach*, de 18 e 34%, respectivamente. Por seu lado, no sector do pinheiro bravo, estas emissões conduziram a uma redução da remoção de carbono, estimada com a

atmospheric-flow approach e a *stock-change approach*, de 18 e 63%, respectivamente. As emissões de carbono na forma de CH₄ no sector do eucalipto induziram uma redução da remoção de carbono, estimada com a *atmospheric-flow approach* e a *stock-change approach*, de 4 e 8%, respectivamente, enquanto que no sector do pinheiro bravo, a diminuição da remoção de carbono, estimada com a *atmospheric-flow approach* e a *stock-change approach*, foi de 4 e 13%, respectivamente.

Neste estudo foi igualmente quantificado o carbono acumulado na totalidade dos produtos florestais produzidos a partir de madeira nacional e dos produtos florestais consumidos em Portugal, utilizando as três abordagens que estão actualmente em análise no seio da CQNUAC: *stock-change approach*, *atmospheric-flow approach* e *production approach*. Nesse sentido, foram aplicados três métodos distintos: o método de Winjum *et al.* (1998), o método de 2º nível do GPG LULUCF e um método desenvolvido no presente estudo, consistente com o método B de 3º nível do GPG LULUCF. As conclusões mais importantes são as seguintes:

- no período compreendido entre os anos 1990 e 2000, independentemente da abordagem e do método de cálculo considerados, os produtos florestais promoveram a remoção de carbono da atmosfera;
- a remoção de carbono associada aos produtos florestais determinada com o método de Winjum *et al.* (1998), no período de 1990 a 2000, variou entre 310 e 611 Gg C ano⁻¹ para a *stock-change approach*, entre 322 e 783 Gg C ano⁻¹ para a *atmospheric-flow approach* e entre 657 e 916 Gg C ano⁻¹ para a *production approach*;
- a aplicação do método de 2º nível do GPG LULUCF conduziu a valores de remoção de carbono associados aos produtos florestais no período de 1990 a 2000 que variaram entre 167 e 457 Gg C ano⁻¹ para a *stock-change approach*, entre 699 e 1115 Gg C ano⁻¹ para a *atmospheric-flow approach* e entre 422 e 679 Gg C ano⁻¹ para a *production approach*;
- o método B de 3º nível do GPG LULUCF originou valores de remoção de carbono associados aos produtos florestais, no período de 1990 a 2000, entre 112 e 469 Gg C ano⁻¹ para a *stock-change approach*, entre 659 e 1016 Gg C ano⁻¹ para a *atmospheric-flow approach* e entre 443 e 606 Gg C ano⁻¹ para a *production approach*;
- no período entre os anos de 1990 e 2000, a *atmospheric-flow approach* é a abordagem que origina valores de remoção de carbono mais favoráveis para Portugal, já que nesse período houve exportação líquida de carbono. Pelo mesmo motivo, acrescido do facto de os produtos florestais exportados terem como matéria-prima principal a madeira nacional, a *production approach* origina valores de remoção de carbono superiores aos obtidos com a *stock-change approach*;

- o método B de 3º nível do GPG LULUCF foi o método em que a incerteza associada aos resultados foi menor, sendo que a amplitude relativa do intervalo de confiança de 95% variou entre 24 e 176%. Os parâmetros que mais contribuíram para esta incerteza foram os dados estatísticos de produção e de comércio internacional, a massa volúmica dos produtos florestais, a taxa de decomposição dos produtos em uso e a fracção de produtos florestais enviada para aterro.

8.2. Sugestões de trabalho futuro

Com vista a diminuir a incerteza associada aos resultados obtidos no âmbito do presente estudo e a complementar esses mesmos resultados, são sugeridas as seguintes extensões:

- aumentar o conhecimento no que respeita a alguns dados de entrada associados ao cálculo do balanço de carbono na floresta de eucalipto e de pinheiro bravo, nomeadamente o factor de expansão da biomassa e, no caso do pinheiro bravo, também a massa volúmica e a fracção de casca;
- avaliar o papel do solo florestal e das raízes na remoção de carbono;
- determinar as emissões de carbono de origem fóssil associadas ao transporte de madeira da floresta para as fábricas e ao transporte de produtos florestais;
- validar os resultados obtidos para a remoção de carbono nos produtos florestais através da aplicação do método baseado na estimativa directa dos *stocks*;
- avaliar, para as condições específicas de Portugal, as emissões de GEEs que são evitadas pelo facto de se utilizar madeira e produtos florestais como substitutos de combustíveis fósseis e de materiais usados na construção cujos processos de fabrico consomem mais combustíveis fósseis.

Considerando que o sobreiro é a espécie florestal com a segunda maior área de ocupação em Portugal e que alguns dos produtos derivados da extracção da cortiça apresentam tempos de vida significativos, sugere-se:

- avaliar o balanço de GEEs associado ao sector do sobreiro.

Referências bibliográficas

Acel e DGF (1993). Inventário florestal nacional do eucalipto - relatório conjunto Acel/DGF. Associação das Empresas de Celulose e Papel / Direcção-Geral das Florestas, Lisboa, 15 p.

AF&PA, CEPI, CPPA, JPA e NZFIC (2000). Meeting the challenge of global climate change - views of the forest and paper industry in: New Zealand, Canada, Japan, United States, Europe. American Forest & Paper Association, Confederation of European Paper Industries, Canadian Pulp and Paper Association, Japan Paper Association, New Zealand Forest Industries Council, Washington, Brussels, Montreal, Tokyo, Wellington, 12 p.

Ahluwalia G. e Shackford A. (1993). Life expectancies of housing components. *Housing Economics*, August: 5-9.

AIMMP (2002). As indústrias da fileira de madeira e o PNAC - contributo para o cenário de referência 2001. Associação das Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal, Porto, 4 p.

Albuquerque J. P. M. (1954). Carta ecológica de Portugal. Ministério da Economia, Repartição de Estudos, Informação e Propaganda, Lisboa.

Alfonso F. P. P., Parra B. C., González A. F., Pedro C. M. e González A. R. (2004). Guía práctica de especies de madera. Confermadera - Confederación Española de Empresarios de la Madera, Madrid, 31 p.

Aloui F., Ayadi N., Charrier F. e Charrier B. (2004). Durability of European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) against white rot fungi (*Coriolus versicolor*): relations with phenol extractives. *Holz Roh Werkst*, 62: 286-290.

Alves J. F. (2001). Indústria da pasta e do papel em Portugal. O grupo Portucel. Portucel, Lisboa, 169 p.

Apps M. J., Kurz W. A., Beukema S. J. e Bhatti J. S. (1999). Carbon budget of the Canadian forest product sector. *Environmental Science & Policy*, 2: 25-41.

Arango R. A., Green III F., Hintz K. e Miller R. B. (2004). Evaluating the natural durability of native and tropical wood species against *Reticulitermes flavipes*. Paper prepared for the 35th IRG Annual Meeting in Ljubljana. IRG/WP 04-10539, The International Research Group on Wood Preservation, Stockholm, 11 p.

Athanassiadis D. (2000). Energy consumption and exhaust emissions in mechanized timber harvesting operations in Sweden. *The Science of the Total Environment*, 255: 135-143.

Athanassiadis D., Lidestav G. e Wästerlund I. (1999). Fuel, hydraulic oil and lubricant consumption in Swedish mechanized harvesting operations, 1996. *Journal of Forest Engineering*, 10: 59-66.

Aubinet M., Grelle A., Ibrom A., Rannik U., Moncrieff J., Foken T., Kowalski A. S., Martin P. H., Berbigier P., Bernhofer C., Clement R., Elbers J., Granier A., Grünwald T., Morgenstern K., Pilegaard K., Rebmann C., Snijders W., Valentini R. e Vesala T. (2000). Estimates of the annual net carbon and water exchange of European forests: the EUROFLUX methodology. *Advances in Ecological Research*, 30: 113-175.

Azevedo A. P. A. (2000). Estudo da dinâmica do azoto e do carbono em plantações florestais intensivas. Tese de doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa; Lisboa, 296 p.

Baggott S. L., Davidson I., Dore C., Goodwin J., Milne R., Murrells T. P., Rose M., Watterson J. D. e Underwood B. (2003). UK greenhouse gas inventory, 1990 to 2001: annual report for submission under the Framework Convention on Climate Change. AEA Technology, Abingdon.

Baldocchi D. D. (2003). Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. *Global Change Biology*, 9: 479-492.

Baldocchi D. D. e Harley P. C. (1997). Measuring and modelling carbon dioxide and water vapour exchange over a temperate broad-leaved forest during the 1995 summer drought. *Plant, Cell and Environment*, 20: 1108-1122.

Barillari C. T. (2002). Durabilidade da madeira do gênero *Pinus* tratada com preservantes: avaliação em campo de apodrecimento. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo, 68 p.

Baritz R. e Strich S. (2000). Forests and the national greenhouse gas inventory of Germany. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 4(4): 267-271.

Barlaz M. A., Ham R. K. e Schaefer D. M. (1989). Mass-balance analysis of anaerobically decomposed refuse. *Journal of Environmental Engineering*, 115: 1088-1102.

Barlaz M. A., Eleazer W. E., Odle W. S., Qian X. e Wang Y.-S. (1997). Biodegradative analysis of municipal solid waste in laboratory-scale landfills. EPA/600/SR-97/071, United States Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory, Research Triangle Park, 5 p.

Barros A. e Salinas F. (1981). Técnicas de preparação de terreno para florestação. Estudos nº 13, Direcção-Geral de Fomento Florestal, Lisboa, 63 p.

Battle M., Bender M. L., Tans P. P., White J. W. C., Ellis J. T., Conway T. e Francey R. J. (2000). Global carbon sinks and their variability inferred from atmospheric O₂ and $\delta^{13}\text{C}$. *Science*, 287: 2467-2470.

Bauhus J., Khanna P. K., Hopmans P. e Weston C. (2002). Is soil carbon a useful indicator of sustainable forest soil management? - a case study from native eucalypt forests of south-eastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 171: 59-74.

Beets P. N., Robertson K. A., Ford-Robertson J. B., Gordon J. e Maclaren J. P. (1999). Description and validation of C_{change}: a model for simulating carbon content in managed *Pinus radiata* stands. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 29(3): 409-427.

Berg S. (1995). The environmental load of fossil fuels in Swedish forestry - an inventory for a LCA. In: Fröhwald A. e Solberg B. (eds.), Life cycle analysis - a challenge for forestry and forest industry, EFI Proceedings nº 8, European Forest Institute, Joensuu: 53-65.

Berg S. (1997). Some aspects of LCA in the analysis of forestry operations. *Journal of Cleaner Production*, 5(3): 211-217.

Berg S. e Karjalainen T. (2003). Comparison of greenhouse gas emissions from forest operations in Finland and Sweden. *Forestry*, 76(3): 271-284.

Berg S. e Lindholm E.-L. (2001). Energy use in Swedish forestry - from planting to the mill. *Skog Forsk Results*, 1: 1-4.

Berg S. e Lindholm E.-L. (2005). Energy use and environmental impacts of forest operations in Sweden. *Journal of Cleaner Production*, 13(1): 33-42.

Bingemer H. G. e Crutzen P. J. (1987). The production of methane from solid wastes. *Journal of Geophysical Research*, 92(D2): 2181-2187.

Birdsey R. A. e Lewis G. M. (2003). Carbon in U.S. forests and wood products, 1987-1997: state-by-state estimates. General Technical Report NE-310, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, Newtown Square, 42 p.

- Bogner J. (1992). Anaerobic burial of refuse in landfills: increased atmospheric methane and implications for increased carbon storage. *Ecological Bulletins*, 42: 98-108.
- Bogner J. e Spokas K. (1995). Carbon storage in landfills. In: Lal R., Kimble J., Levine E. e Stewart B. (eds.), *Soils and global change - advances in soil science*, CRC Lewis Publications, Boca Raton: 67-80.
- Bogner J., Spokas K. e Jolas J. (1993). Comparison of measured and calculated methane emissions at Mallard Lake Landfill, DuPage County, Illinois (USA). In: *Proceedings Sardinia '93 International Landfill Conference*, University of Cagliari, Cagliari: 605-616.
- Bogner J., Spokas K., Burton E., Sweeney R. e Corona V. (1995). Landfills as atmospheric methane sources and sinks. *Chemosphere*, 31(9): 4119-4130.
- Bogner J., Spokas K. A. e Burton E. A. (1999). Temporal variations in greenhouse gas emissions at a midlatitude landfill. *Journal of Environmental Quality*, 28(1): 278-288.
- Bonsang B., Moortgat G. K. e Pio C. A. (2001). Overview of the FIELDVOC'94 experiment in a eucalyptus forest of Portugal. *Chemosphere - Global Change Science*, 3: 211-226.
- Bopp L., Le Quéré C., Heimann M., Manning A. C. e Monfray P. (2002). Climate-induced oceanic oxygen fluxes: implications for the contemporary carbon budget. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(2): 10.1029/2001GB001445.
- Börjesson P. e Gustavsson L. (2000). Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives. *Energy Policy*, 28: 575-588.
- Bousquet P., Ciais P., Peylin P., Ramonet M. e Monfray P. (1999). Inverse modeling of annual atmospheric CO₂ sources and sinks: 1. Method and control inversion. *Journal of Geophysical Research*, 104: 26161-26178.
- Bousquet P., Peylin P., Ciais P., Le Quéré C., Friedlingstein P. e Tans P. P. (2000). Regional changes in carbon dioxide fluxes of land and oceans since 1980. *Science*, 290: 1342-1346.
- Brack C. L. e Richards G. P. (2002). Carbon accounting model for forests in Australia. *Environmental Pollution*, 116: 187-194.
- Brown S. (1997). Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. *FAO Forestry Paper 134*, FAO, Rome.
- Brown S., Lim B. e Schlamadinger B. (1999). Evaluating approaches for estimating net emissions of carbon dioxide from forest harvesting and wood products, Meeting Report, Dakar, 5-7 May 1998. *IPCC/OECD/IEA Programme on National Greenhouse Gas Inventories*, Paris, 51 p.
- Buchanan A. H. e Levine S. B. (1999). Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions. *Environmental Science & Policy*, 2: 427-437.
- Burschel P., Kürsten E., Larson B. C. e Weber M. (1993). Present role of German forests and forestry in the national carbon budget and options to its increase. *Water, Air and Soil Pollution*, 70: 325-340.
- Buscaglione A., Mäki P. K. e Stolp A. N. (1999). Implications of the Kyoto Protocol for the European pulp and paper industry. Executive Report Environment, Confederation of European Paper Industries (CEPI), Brussels, 6 p.
- Cameron L. (2003). Maritime pine. Agriculture Notes 1083, State of Victoria, Department of Primary Industries, Victoria, 3 p.
- Cannell M. G. R. e Dewar R. C. (1995). The carbon sink provided by plantation forests and their product in Britain. *Forestry*, 68(1): 35-48.
- CAOF (2003a). Matriz de referência com custos mínimos e máximos para as principais operações de (re)arborização e execução de infraestruturas para 2003/2004 - infraestruturas. Comissão de Acompanhamento das Operações Florestais, Lisboa, 2 p.

CAOF (2003b). Matriz de referência com custos mínimos e máximos para as principais operações de (re)arborização e execução de infraestruturas para 2003/2004 - operações mecânicas. Comissão de Acompanhamento das Operações Florestais, Lisboa, 5 p.

Carll C. G. e Highley T. L. (1999). Decay of wood and wood-based products above ground in buildings. *Journal of Testing and Evaluation*, 27(2): 150-158.

Castéra P., Nepveu G. e Chantre G. (1999). Principaux facteurs de contrôle de la variabilité du bois chez le pin maritime (*Pinus pinaster* ait.). In: Actes du Vème Colloque Arbora: Propriétés et Usages du Pin Maritime, ARBORA, Cestas: 91-101.

CEI-Bois (2004). Memorandum of the woodworking industries to the European institutions. European Confederation of Woodworking Industries, Brussels, 21 p.

Celpa (1985). Boletim estatístico 1984 da indústria papelreira portuguesa. Associação da Indústria Papelreira, Lisboa, 37 p.

Celpa (1986). Boletim estatístico 1985 da indústria papelreira portuguesa. Associação da Indústria Papelreira, Lisboa, 37 p.

Celpa (1990). Boletim estatístico 1989 da indústria papelreira portuguesa. Associação da Indústria Papelreira, Lisboa, 41 p.

Celpa (1995). Boletim estatístico 1994 da indústria papelreira portuguesa. Associação da Indústria Papelreira, Lisboa, 57 p.

Celpa (1996). Boletim estatístico 1995 da indústria papelreira portuguesa. Associação da Indústria Papelreira, Lisboa, 57 p.

Celpa (1997). Boletim estatístico 1996 da indústria papelreira portuguesa. Associação da Indústria Papelreira, Lisboa, 56 p.

Celpa (1998). Boletim estatístico 1997 da indústria papelreira portuguesa. Associação da Indústria Papelreira, Lisboa, 69 p.

Celpa (1999). Boletim estatístico 1998 da indústria papelreira portuguesa. Associação da Indústria Papelreira, Lisboa, 69 p.

Celpa (2001). Boletim estatístico 2000 da indústria papelreira portuguesa. Associação da Indústria Papelreira, Lisboa, 69 p.

Celpa (2003). Boletim estatístico 2002 da indústria papelreira portuguesa. Associação da Indústria Papelreira, Lisboa, 127 p.

Celpa (2004). Boletim estatístico 2003 da indústria papelreira portuguesa. Associação da Indústria Papelreira, Lisboa, 135 p.

CESE (1996). O sector florestal português. Conselho Ensino Superior Empresa, Ministério da Educação, Póvoa do Varzim.

Charles D., Jones B. M. R., Salway A. G., Eggleston H. S. e Milne R. (1998). Treatment of uncertainties for national estimates of greenhouse gas emissions. AEA Technology, <http://www.aeat.co.uk/netcen/airqual/naei/ipcc/uncertainty>.

Chojnacky D. C. e Heath L. S. (2002). Estimating down deadwood from FIA forest inventory variables in Maine. *Environmental Pollution*, 116: S25-S30.

Chudnoff M. (1984). Tropical timbers of the world. Agriculture Handbook No 607, USDA Forest Service, Madison, 464 p.

Chung W. Y., Wi S. G. e Bae H. J. (1999). Microscopic observation of wood-based composites exposed to fungal deterioration. *Journal of Wood Science*, 45: 64-68.

Ciais P., Tans P. P., Trolier M., White J. W. C. e Francey R. J. (1995a). A large northern hemisphere terrestrial CO₂ sink indicated by the ¹³C/¹²C ratio for atmospheric CO₂. *Science*, 269: 1098-1102.

Ciais P., Tans P. P., White J. W. C., Trolier M., Francey R. J., Berry J. A., Randall D. R., Sellers P. J., Collatz J. G. e Schimel D. S. (1995b). Partitioning of ocean and land uptake of CO₂ as inferred by δ¹³C measurements from the NOAA Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory Global Air Sampling Network. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*, 100: 5051-5070.

Conkling B. L., Hoover C. M., Smith W. D. e Palmer C. J. (2002). Using forest health monitoring data to integrate above and below ground carbon information. *Environmental Pollution*, 116: S221-S232.

Correia A. (2004). Metodologias para quantificação do balanço de carbono nas florestas em Portugal. Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 74 p.

Correia A. V. e Oliveira A. C. (1999). Principais espécies florestais com interesse para Portugal - zonas de influência mediterrânica. Estudos e Informação nº 318, Direcção-Geral das Florestas, Lisboa, 119 p.

Cortez N. R. S. (1996). Compartimentos e ciclos de nutrientes em plantações de *Eucalyptus globulus* Labill. spp. *globulus* e *Pinus pinaster* Aiton. Tese de Doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 317 p.

Costa F. e Mendes M. J. A. (1981). Celulose e papel - papel. *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Madeiras*(31): 25-46.

Côté W. A., Young R. J., Risse K. B., Constanza A. F., Tonelli J. P. e Lenocker C. (2002). A carbon balance method for paper and wood products. *Environmental Pollution*, 116: S1-S6.

Cramer W., Kicklighter D. W., Bondeau A., Moore III B., Churkina G., Nemry B., Ruimy A., Schloss A. L. e The participants of the Potsdam NPP model intercomparison (1999). Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): overview and key results. *Global Change Biology*, 5(Suppl. 1): 1-15.

Cruz H. e Sousa P. P. (1999). Production, industry, marketing and uses of maritime pine (*Pinus pinaster*, Ait.) - the Portuguese situation. In: Actes du Vème Colloque Arbora: Propriétés et Usages du Pin Maritime, ARBORA, Cestas: 25-37.

Cruz H., Nunes L. e Machado J. S. (1998). Update assessment of Portuguese maritime pine timber. *Forest Products Journal*, 48(1): 60-64.

Curling S. F. e Murphy R. J. (1999). The effect of artificial ageing on the durability of wood-based board material against basidiomycete decay fungi. *Wood Science and Technology*, 33: 245-257.

Czepiel P. M., Mosher B., Harris R. C., Shorter J. H., McManus J. B., Kolb C. E., Allwine E. e Lamb C. E. (1996). Landfill methane emissions measured by enclosure and atmospheric tracer methods. *Journal of Geophysical Research*, 101(D11): 16711-16719.

Davies I., Walker B. e Pendlebury J. (2002). Timber cladding in Scotland. ARCA Publications Ltd., Edinburgh, 64 p.

De Vries W., Reinds G. J., Posch M., Sanz M. J., Krause G. H. M., Calatayud V., Renaud J. P., Dupouey J. L., Sterba H., Vel E. M., Dobberty M., Gundersen P. e Voogd J. C. H. (2003). Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe. Technical Report 2003, European Commission/United Nations Economic Commission for Europe, Brussels/Geneva, 163 p.

Defries R. S., Hansen M. C., Townshend J. R. G., Janetos A. C. e Loveland T. R. (2000). A new global 1-km dataset of percentage tree cover derived from remote sensing. *Global Change Biology*, 6: 247-254.

Dewar R. C. (1990). A model of carbon storage in forests and forest products. *Tree Physiology*, 6: 417-428.

- DGF (1991). Perfil florestal. Direcção-Geral das Florestas, Lisboa, 42 p.
- DGF (1998). Plano de desenvolvimento sustentável da floresta portuguesa. Direcção-Geral das Florestas, Lisboa, 120 p.
- DGF (2001). Inventário florestal nacional - 3ª revisão. Direcção-Geral das Florestas, Lisboa, 233 p.
- DGF (2003). Princípios de boas práticas florestais. Direcção de Serviços de Valorização do Património Florestal, Direcção-Geral das Florestas, Lisboa.
- Dias A., Lopes E., Arroja L., Capela I., Pereira F. e Tomé M. (2000). Life cycle assessment of printing and writing paper produced from *Eucalyptus globulus*. In: Proceedings of the 4th International Conference on Environmental Impacts of the Pulp and Paper Industry, Helsinki, Finland: 81-86.
- Dias A., Lopes E., Arroja L., Capela I. e Pereira F. (2002). Life cycle assessment of paper production from *Eucalyptus globulus*. Case study of the Portuguese industry. *Appita Journal*, 55(1): 21-26.
- Dixon R. K., Brown S., Houghton R. A., Solomon A. M., Trexler M. C. e Wisniewski J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263: 185-190.
- Dolman H., Nabuurs G. J., Kuikman P., Kruijt B., Brinkman S., Vleeshouwers L. e Verhagen J. (2001). Terrestrial carbon sinks and the Kyoto Protocol: the scientific issues. Report 410 200 068, Alterra, Wageningen.
- Dong J., Kaufmann R. K., Myneni R. B., Tucker C. J., Kauppi P. E., Liski J., Buermann W., Alexeyev V. e Hughes M. K. (2003). Remote sensing estimates of boreal and temperate forest woody biomass: carbon pools, sources, and sinks. *Remote Sensing of Environment*, 84: 393-410.
- Drew J. e Propst M. (1981). Tall oil. Pulp Chemicals Association, New York.
- Drew J., Russel J. e Bajala H. W. (1971). Sulfate turpentine recovery. Pulp Chemicals Association, New York.
- Eggers T. (2002). The impacts of manufacturing and utilisation of wood products on the European carbon budget. Internal Report 9, European Forest Institute, Joensuu, 89 p.
- Embar (2004). Estudo para a caracterização dos resíduos sólidos urbanos e industriais das embalagens de madeira e respectivos fluxos. Associação Nacional de Recuperação e reciclagem de Resíduos de Embalagens de Madeira, Lisboa, 18 p.
- Emporsil e Soporcel (1995). Manual técnico: instalação e condução de povoamentos florestais com eucalipto. Emporsil; Soporcel, Lisboa.
- European Commission (2001). Integrated pollution prevention and control (IPPC) - reference document on best available techniques in the pulp and paper industry. European Commission, Brussels, 475 p.
- Eurostat (2000). Forestry statistics: data 1995-1998. European Commission, Luxembourg, 150 p.
- Fabião A. M. D. (1986). Contribuição para o estudo da dinâmica da biomassa e da produtividade primária líquida em eucaliptais - região litoral do centro de Portugal. Tese de Doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Fabião A., Madeira M. e Steen E. (1987). Root mass in plantations of *Eucalyptus globulus* in Portugal in relation to soil characteristics. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 1: 185-194.
- Fabião A., Madeira M., Steen E., Kätterer T., Ribeiro C. e Araújo C. (1995). Development of root biomass in an *Eucalyptus globulus* plantation under different water and nutrient regimes. *Plant and Soil*, 168-169: 215-223.
- Fan S., Gloor M., Mahlman J., Pacala S., Sarmiento J., Takahashiand T. e Tans P. (1998). A large terrestrial carbon sink in North America implied by atmospheric and oceanic carbon dioxide data and models. *Science*, 282: 442-446.

Fang J., Chen A., Peng C., Zhao S. e Ci L. (2001). Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 292: 2320-2322.

FAO (1982). Classification and definitions of forest products. FAO Forestry Paper No 32, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 45 p.

FAO (1995). FAO yearbook of forest products. FAO Forest Service No 28, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 422 p.

FAO (1998). FAO yearbook of forest products. FAO Forestry Series No 32 / FAO Statistics Series No 141, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 241 p.

FAO (2004). FAOSTAT forestry data. Food and Agriculture Organization of the United Nations, <http://faostat.fao.org/faostat/collections?subset=forestry>. Last update September 2004.

Fengel D. e Wegener G. (1984). Wood: chemistry, ultrastructure, reactions. Walter de Gruyter, Berlin, 611 p.

Ferreira V. G., Pereira T. C. e Seabra T. (2003). Portuguese national inventory report on greenhouse gases, 1990-2001 - submitted under the United Nations Framework on Climate Change. Ministry of the Environment and Land-Use Planning, Amadora, 210 p.

Ferreira V. G., Pereira T. C., Torres P. e Seabra T. (2004). Portuguese national inventory report on greenhouse gases, 1990-2002 - submitted under the United Nations Framework on Climate Change. Ministry of the Environment and Land-Use Planning, Amadora, 388 p.

FGAD (2001). The forest inventory of the Flemish region - results of the first inventory 1997-1999. Ministry of the Flemish Community, 485 p.

Fischlin A. e Gyalistras D. (1997). Assessing impacts of climatic change on forests in the Alps. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 6: 19-37.

Flugsrud K., Gadmar T. C., Gjesdal S. F. T. e Rypdal K. (1998). A balance of use of wood products in Norway - part II. Comparison between the suggested IPCC method and the reservoir method for estimating the annual release of biotic carbon. Report 98:04 (TA-1548/1998), Norwegian Pollution Control Authority, Oslo, 42 p.

Flugsrud K., Hoem B., Kvingedal E. e Rypdal K. (2001). Estimating the net emission of CO₂ from harvested wood products - a comparison between different approaches. TA-1831/2001, Norwegian Pollution Control Authority, Oslo, 46 p.

Fonseca F. M. A. (1989). Variação na madeira de *Pinus Pinaster* Ait. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 245 p.

Ford-Robertson J. (1996). Estimating the net carbon balance of the plantation forest industry in New Zealand. *Biomass and Bioenergy*, 10(1): 7-10.

Ford-Robertson J. (2003). Implications of harvested wood products accounting. Analysis of issues raised by parties to the UNFCCC and development of a simple decay approach. MAF Technical Paper No. 2003/5, Ministry of Agriculture and Forestry, Wellington, 30 p.

Ford-Robertson J., Robertson K. e Sligh P. (1999). Implications of carbon accounting methods for harvested wood products in New Zealand. *Appita Journal*, 52(4): 263-268.

FPPF (2001a). O eucalipto - caderno técnico. Federação dos Produtores Florestais de Portugal, Lisboa, 60 p.

FPPF (2001b). O pinheiro bravo - caderno técnico. Federação dos Produtores Florestais de Portugal, Lisboa, 71 p.

Freitas C. (2004). Análise dos encargos horários com a utilização das máquinas pesadas na agricultura e floresta. Gabinete de Gestão do Parque de Máquinas, Direcção de Serviços de Projectos e Obras, Instituto de Desenvolvimento Rural e Hidráulica, Lisboa, 13 p.

Frey H. C. (1992). Quantitative analysis of uncertainty and variability in environmental policy making. Environmental Science and Engineering Fellows Program Reports, American Association for the Advancement of Science, Washington, 68 p.

Frey H. C. e Burmaster D. E. (1999). Methods for characterizing variability and uncertainty: comparison of bootstrap simulation and likelihood-based approaches. *Risk Analysis*, 19(1): 109-130.

Fung I. (2000). Variable carbon sink. *Science*, 290: 1313.

Gardner W. D., Ximenes F., Cowie A., Marchant J. F., Mann S. e Dods K. (2004). Decomposition of wood products in the Lucas Heights landfill facility. In: 3rd Intercontinental Landfill Research Symposium, Hokkaido University/North Carolina State University/Lulea University, Hokkaido.

Gawin R. (2002). Level and trend uncertainties of Kyoto relevant greenhouse gases in Poland. Interim Report IR-02-045, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, 33 p.

Georgia-Pacific Corporation (2002). Protocol for the inventory of greenhouse gases in Georgia-Pacific Corporation. Georgia-Pacific Corporation, 51 p.

Gillenwater M., Sussman F. e Cohen J. (2004). Practical applications of uncertainty analysis for national greenhouse gas inventories. In: Proceedings of the International Workshop on Uncertainty in Greenhouse Gas Inventories: Verification, Compliance and Trading, Systems Research Institute, Polish Academy of Sciences, Warsaw: 45-58.

Gjesdal S. F. T., Flugsrud K., Mykkelbost T. C. e Rypdal K. (1996). A balance of use of wood products in Norway. Report 96/04 (TA-1387/1996), Norwegian Pollution Control Authority, Oslo, 54 p.

Goes E. (1960). Os eucaliptos em Portugal. I Volume - Identificação e monografia de 90 espécies. Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas, Lisboa.

Goes E. (1991). A floresta portuguesa - sua importância e descrição das espécies de maior interesse. Portucel, Lisboa, 259 p.

Gomes A. P. D. (2001). Fundamentos da compostagem de resíduos sólidos. Tese de Doutorado em Ciências Aplicadas ao Ambiente, Universidade de Aveiro, Aveiro.

Goodale C. L., Apps M. J., Birdsey R. A., Field C. B., Heath L. S., Houghton R. A., Jenkins J. C., Kohlmaier G. H., Kurz W., Liu S., Nabuurs G.-J., Nilsson S. e Shvidenko A. Z. (2002). Forest carbon sinks in the northern hemisphere. *Ecological Applications*, 12: 891-899.

Grant R. F. e Nalder I. A. (2000). Climate change effects on net carbon exchange of a boreal aspen-hazelnut forest: estimates from the ecosystem model *ecosys*. *Global Change Biology*, 6: 183-200.

Gullichsen J. e Fogelholm C.-J. (1999). Papermaking science and technology - chemical pulping. Volume 6B, Fapet Oy, Helsinki.

Gurijala K. R. e Suflita J. M. (1993). Environmental factors influencing methanogenesis from refuse in landfill samples. *Environmental Science and Technology*, 27: 1176-1181.

Gurnagul N., Howard R. C., Zou X., Uesaka T. e Page D. H. (1993). The mechanical permanence of paper: a literature review. Pulp and Paper Research Institute of Canada, Quebec, 13 p.

Gurney K. R., Law R. M., Denning A. S., Rayner P. J., Baker D., Bousquet P., Bruhwiler L., Chen Y.-H., Ciais P., Fan S., Fung I. Y., Gloor M., Heimann M., Higuchi K., John J., Maki T., Maksyutov S., Masarie K., Peylin P., Prather M., Pak B. C., Randerson J., Sarmiento J., Taguchi S., Takahashi T. e Yuen C. W. (2002). Towards robust regional estimates of CO₂ sources and sinks using atmospheric transport models. *Nature*, 415: 626-630.

Hall G. M. J., Wiser S. K., Allen R. B., Beets P. N. e Goulding C. J. (2001). Strategies to estimate national forest carbon stocks from inventory data: the 1990 New Zealand baseline. *Global Change Biology*, 7: 389-403.

- Haripriya G. (2001). A framework for assessing carbon flows in Indian wood products. *Environment, Development and Sustainability*, 3: 229-251.
- Haripriya G. S. (2003). Carbon budget of the Indian forest ecosystem. *Climatic Change*, 56: 291-319.
- Harju A. M., Venäläinen M., Anttonen S., Viitanen H., Kainulainen P., Saranpää P. e Vapaavuori E. (2003). Chemical factors affecting the brown-rot decay resistance of Scots pine heartwood. *Trees*, 17: 263-268.
- Harmon M. E., Harmon J. M., Ferrell W. K. e Brooks D. (1996). Modeling carbon stores in Oregon and Washington forest products: 1900-1992. *Climatic Change*, 33: 521-550.
- Harrison D., Hunter M. C., Lewis A. C., Seakins P. W., Nunes T. V. e Pio C. A. (2001). Isoprene and monoterpene emission from the coniferous species *Abies Borisii-regis* - implications for regional air chemistry in Greece. *Atmospheric Environment*, 35: 4687-4698.
- Hashimoto S. e Moriguchi Y. (2004). Data book: material and carbon flow of harvested wood in Japan. CGER-D034-2004, Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, 40 p.
- Hashimoto S., Nose M., Obara T. e Moriguchi Y. (2002). Wood products: potential carbon sequestration and impact on net carbon emissions of industrialized countries. *Environmental Science & Policy*, 5: 183-193.
- Havermans J. (2002). The impact of European research on paper ageing and preventive conservation strategies. In: Proceedings of the 5th European Commission Conference - Cultural Heritage Research: a Pan-European Challenge, Institute of Catalysis and Surface Chemistry, Polish Academy of Sciences, Cracow: 87-91.
- Havlíková B., Brezová V., Hornáková L., Mináriková J. e Ceppan M. (2002). Investigations of paper aging - a search for archive paper. *Journal of Materials Science*, 37: 303-308.
- Haygreen J. G. e Bowyer J. L. (1989). Forest products and wood science. Iowa State University Press, Ames, 500 p.
- Haynes R. W. (1990). An analysis of the timber situation in the United States: 1989-2040. A technical document supporting the 1989 USDA Forest Service RPA assessment. General Technical Report RM-199, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, 268 p.
- Heath L. S., Birdsey R. A. e Williams D. W. (2002). Methodology for estimating soil carbon for the forest carbon budget model of the United States, 2001. *Environmental Pollution*, 116: 373-380.
- Hekkert M. P., Van der Reek J., Worrell E. e Turkenburg W. C. (2002). The impact of material efficient end-use technologies on paper use and carbon emissions. *Resources, Conservation and Recycling*, 36: 241-266.
- Hese S., Lucht W., Schmullius C., Barnsley M., Dubayah R., Knorr D., Neumann K., Riedel T. e Schröter K. (2005). Global biomass mapping for an improved understanding of the CO₂ balance - the Earth observation mission Carbon-3D. *Remote Sensing of Environment*, 94: 94-104.
- Highley T. L. (1995). Comparative durability of untreated wood in use above ground. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 35(4): 409-419.
- Hoen H. F. e Solberg B. (1994). Potential and economic efficiency of carbon sequestration in forest biomass through silvicultural management. *Forest Science*, 40(3): 429-451.
- Hoff C., Rambal S. e Joffre R. (2002). Simulating carbon and water flows and growth in a Mediterranean evergreen *Quercus ilex* coppice using the FOREST-BGC model. *Forest Ecology and Management*, 164: 121-136.
- Holtzschner M. A. e Lanford B. L. (1997). Tree diameter effects on cost and productivity of cut-to-length systems. *Forest Products Journal*, 47(3): 25-30.

- Homan W. J. (2004). Wood modification, state of the art 2004. In: COST E18 Final Seminar, <http://www.vtt.fi/rte/bp/coste18/programparisfinalworkshop.htm>, Paris.
- Houghton R. A. (1999). The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850-1990. *Tellus*, 51B: 298-313.
- Houghton R. A. (2002a). Magnitude, distribution and causes of terrestrial carbon sinks and some implications for policy. *Climate Policy*, 2: 71-88.
- Houghton R. A. (2002b). Terrestrial carbon sinks - uncertain explanations. *Biologist*, 49(4): 155-160.
- Houghton R. A. (2003). Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850-2000. *Tellus*, 55B: 378-390.
- Houghton R. A., Skole D. L., Nobre C. A., Hackler J. L., Lawrence K. T. e Chomentowski W. H. (2000). Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature*, 403: 301-304.
- House J. I., Prentice I. C., Ramankutty N., Houghton R. A. e Heimann M. (2003). Reconciling apparent inconsistencies in estimates of terrestrial CO₂ sources and sinks. *Tellus*, 55B: 345-363.
- Hunt C., Yu X., Bond J., Agarwal U. e Atalla R. (2003). Aging of printing and writing paper upon exposure to light. Part 2 - mechanical and chemical properties. In: Proceedings of the 12th International Symposium on Wood and Pulping Chemistry, Volume III, University of Wisconsin, Madison: 231-234.
- Hurt G. C., Moorcroft P. R., Pacala S. W. e Levin S. A. (1998). Terrestrial models and global change: challenges for the future. *Global Change Biology*, 4: 581-590.
- IA (2004). Inventário nacional de emissões de gases com efeito de estufa - submissão nacional 2004 para a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas. Instituto do Ambiente, <http://www.ambiente.pt>.
- IF (1993). Inventário pinheiro bravo - relatório final. Estudos e Informação nº 305, Instituto Florestal, Lisboa, 88 p.
- INE (1971-1979a). Estatísticas do comércio externo. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.
- INE (1971-1979b). Estatísticas industriais. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.
- INE (2001). Estatísticas agrícolas 2000. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.
- INR (1997). Plano estratégico sectorial de gestão dos resíduos sólidos urbanos. Instituto dos Resíduos, Lisboa, 146 p.
- INR (2000). Produção de resíduos sólidos urbanos/2000. Instituto dos Resíduos, Lisboa, 28 p.
- IPCC (1990a). Scientific assessment of climate change. Report of working group I to the First Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton J.T., Jenkins G.J. e Ephraums J.J. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, 365 p.
- IPCC (1990b). Impacts assessment of climate change. Report of working group II to the First Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Tegart W.J.M., Sheldon G.W. e Griffiths D.C. (eds.)], Australian Government Publishing Service, Canberra.
- IPCC (1990c). The IPCC response strategies. Report of working group III to the First Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Island Press, Covelo, 270 p.
- IPCC (1995a). Climate change 1995: the science of climate change. Contribution of working group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton J.T., Meira Filho L.G., Callender B.A., Harris N., Kattenberg A. e Maskell K. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, 572 p.

IPCC (1995b). Climate change 1995: impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses. Contribution of working group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson R.T., Zinyowera M.C. e Moss R.H. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, 878 p.

IPCC (1995c). Climate change 1995: economic and social dimensions of climate change. Contribution of working group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Bruce J.P., Lee H. e Haites E.F. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, 448 p.

IPCC (1997a). Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories - reporting Instructions. Intergovernmental Panel on Climate Change, WG I Technical Support Unit, Bracknell.

IPCC (1997b). Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories - workbook. Intergovernmental Panel on Climate Change, WG I Technical Support Unit, Bracknell.

IPCC (1997c). Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories - reference manual. Intergovernmental Panel on Climate Change, WG I Technical Support Unit, Bracknell.

IPCC (2000a). Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change, Technical Support Unit, Hayama.

IPCC (2000b). Special report on land use, land-use change and forestry. Cambridge University Press, Cambridge, 375 p.

IPCC (2001a). Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K. e Johnson C.A. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge and New York, 881 p.

IPCC (2001b). Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [McCarthy J.J., Canziani O.F., Leary N.A., Dokken D.J. e White K.S. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge and New York, 1000 p.

IPCC (2001c). Climate change 2001: mitigation contribution. Contribution of working group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz B., Davidson O., Swart R. e Pan J. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge and New York, 700 p.

IPCC (2003). Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Intergovernmental Panel on Climate Change, Technical Support Unit, Hayama.

IPF (1981). Pastas celulósicas, papel e cartão - aprovisionamento em fibra, produção, consumo e comércio externo. *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Madeiras*(31): 67-74.

IPF (1983). Mercado interno de matérias-primas lenhosas. *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Madeiras*(39): 15-21.

IPF (1984). Perspectivas de evolução da madeira serrada de resinosas em Portugal. *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Madeiras*(43): 15-16.

Jaakko Pöyry Consulting Asia-Pacific (1999). Usage and life cycle of wood products. National Carbon Accounting System Technical Report No. 8, Australian Greenhouse Office, Canberra, 78 p.

Jaakko Pöyry Consulting Asia-Pacific (2000). Analysis of wood product accounting options for the national carbon accounting system. National Carbon Accounting System Technical Report No. 24, Australian Greenhouse Office, Canberra, 31 p.

Jäkel U., Schwaiger H., Häger C., Kohlmaier G. H., Schlamadinger B. e Spitzer J. (1999). European study of carbon in the ocean, biosphere and atmosphere: biosphere. Modelling the carbon exchange between forests and the atmosphere: development and use of a model to assess carbon balances of forest management and wood utilization strategies under current and future climate conditions., 38 p.

- Järmsä S. e Viitaniemi P. (2001). Heat treatment of wood - better durability without chemicals. In: Rapp A. O. (ed.), Review on heat treatments of wood - Proceedings of Special Seminar of COST Action E22 held in Antibes, France on 9 February 2001, European Commission/The Federal Research Centre for Forestry and Forest Products, Hamburg: 21-26.
- Jarvis P. G., Massheder J. M., Hale S. E., Moncrieff J. B., Rayment M. e Scott S. L. (1997). Seasonal variation of carbon dioxide, water vapor and energy exchanges of a boreal black spruce forest. *Journal of Geophysical Research*, 102: 28953-28966.
- Jesus M. A., Morais J. W., Abreu R. L. S. e Cardias M. F. C. (1998). Durabilidade natural de 46 espécies de madeira amazônica em contato com o solo em ambiente florestal. *Scientia Forestalis*, 54(12): 81-92.
- Johansson A. e Lennholm H. (2000). Influences of SO₂ and O₃ on the ageing of paper investigated by in situ diffuse reflectance FTIR and time-resolved trace gas analysis. *Applied Surface Science*, 161: 163-169.
- Johnson D. W., Knoepp J. D., Swank W. T., Shan J., Morris L. A., Van Lear D. H. e Kapeluck P. R. (2002). Effects of forest management on soil carbon: results of some long-term resampling studies. *Environmental Pollution*, 116: S201-S208.
- Jones H. E., Madeira M., Harraez L., Dighton J., Fabião A., Gonzalez-Rio F., Fernandez Marcos M., Gomez C., Tomé M., Feith H., Magalhães M. C. e Howson G. (1999). The effect of organic-matter management on the productivity of *Eucalyptus globulus* stands in Spain and Portugal: tree growth and harvest residue decomposition in relation to site and treatment. *Forest Ecology and Management*, 122: 73-86.
- Jorge I. (1999). Estudos da qualidade da madeira de *Eucalyptus globulus* Labill. para produção de pastas para papel e da utilização do processo não convencional ASAM. Tese de doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa; Lisboa.
- Kaipainen T., Liski J., Pussinen A. e Karjalainen T. (2004). Managing carbon sinks by changing rotation length in European forests. *Environmental Science & Policy*, 7: 205-219.
- Kamdem D. P., Pizi A. e Jermannaud A. (2002). Durability of heat-treated wood. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 60: 1-6.
- Karjalainen T. (1996). Model computations on sequestration of carbon in managed forests and wood products under changing climatic conditions in Finland. *Journal of Environmental Management*, 47: 311-328.
- Karjalainen T. e Asikainen A. (1996). Greenhouse gas emissions from the use of primary energy in forest operations and long-distance transportation of timber in Finland. *Forestry*, 69(3): 215-228.
- Karjalainen T., Kellomäki S. e Pussinen A. (1994). Role of wood-based products in absorbing atmospheric carbon. *Silva Fennica*, 28(2): 67-80.
- Karjalainen T., Kellomäki S. e Pussinen A. (1995). Carbon balance in the forest sector in Finland during 1990-2039. *Climatic Change*, 30(4): 451-478.
- Karjalainen T., Pussinen A., Kellomäki S. e Mäkipää R. (1999). Scenarios for the carbon balance of Finnish forests and wood products. *Environmental Science & Policy*, 2: 165-175.
- Karjalainen T., Pussinen A., Liski J., Nabuurs G.-J., Eggers T., Sonntag M. e Mohren G. M. J. (2002). An approach towards an estimate of the impact of forest management and climate change on the European forest sector carbon budget: Germany as a case study. *Forest Ecology and Management*, 162: 87-103.
- Karjalainen T., Pussinen A., Liski J., Nabuurs G. J., Eggers T., Lapveteläinen T. e Kaipainen T. (2003). Scenario analysis of the impacts of forest management and climate change on the European forest sector carbon budget. *Forest Policy and Economics*, 5: 141-155.
- Kartal S. N. e Green III F. (2003). Decay and termite resistance of medium density fiberboard (MDF) made from different wood species. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 51: 29-35.
- Kauppi P. E. (2003). New, low estimate for carbon stock in global forest vegetation based on inventory data. *Silva Fennica*, 37(4): 451-457.

- Keeling R. F., Piper S. C. e Heimann M. (1996). Global and hemispheric CO₂ sinks deduced from changes in atmospheric O₂ concentration. *Nature*, 381: 218-221.
- Kellomäki S. e Wang K.-Y. (2000). Short-term environmental controls on carbon dioxide flux in a boreal coniferous forest: model computation compared with measurements by eddy covariance. *Ecological Modelling*, 128: 63-88.
- Kelly R. J. (2002). Solid waste biodegradation enhancements and the evaluation of analytical methods used to predict waste stability. Master of Science Thesis, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 66 p.
- Khalfi A., Trouvé G., Delobel R. e Delfosse L. (2000). Correlation of CO and PAH emissions during laboratory-scale incineration of wood waste furnitures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 56: 243-262.
- Kim J.-C. (2001). Factors controlling natural VOC emissions in a southeastern US pine forest. *Atmospheric Environment*, 35: 3279-3292.
- Kirschbaum M. U. F. (1999). CenW, a forest growth model with linked carbon, energy, nutrient and water cycles. *Ecological Modelling*, 118: 17-59.
- Kirschbaum M. U. F., Medlyn B. E., King D. A., Pongracic S., Murty D., Keith H., Khanna P. K., Snowdon P. e Raison R. J. (1998). Modelling forest-growth responses to increasing CO₂ concentration in relation to various factors affecting nutrient supply. *Global Change Biology*, 4: 23-41.
- Klvac R., Ward S., Owende P. M. O. e Lyons J. (2003). Energy audit of wood harvesting systems. *Scandinavian Journal of Forest Research*(18): 176-183.
- Ko M. K., Sze N.D., Wang W. C., Shia G., Goldman A., Murcay F. J., Murcay D. G. e Rinsland C. P. (1993). Atmospheric sulphur hexafluoride: sources, sinks and greenhouse warming. *Journal of Geophysical Research*, 98(D6): 10499-10507.
- Komilis D. P., Ham R. K. e Park J. K. (2004). Emission of volatile organic compounds during composting of municipal solid wastes. *Water Research*, 38(7): 1707-1714.
- Kramer K., Leinonen I., Bartelink H. H., Berbigier P., Borghetti M., Bernhofer C., Cienciala E., Dolman A. J., Froer O., Granier A., Grünwald T., Hari P., Jans P., Kellomäki S., Loustau D., Magnani F., Markkanen T., Matteucci G., Mohren G. M. J., Moors E., Nissinen A., Peltola H., Sabaté S., Sanchez A., Sontag M., Valentini R. e Vesala T. (2002). Evaluation of six process-based forest growth models using eddy-covariance measurements of CO₂ and H₂O fluxes at six forest sites in Europe. *Global Change Biology*, 8: 213-230.
- Kropf F. W. (1996). Durability and detail design - the result of 15 years of systematic improvements. In: Ritter M. A., Duwadi S. R. e Lee P. D. H. (eds.), National conference on wood transportation structures, Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-94, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison: 321-328.
- Kurz W. A. e Apps M. J. (1999). A 70-year retrospective analysis of carbon fluxes in the Canadian forest sector. *Ecological Applications*, 9(2): 526-547.
- Kurz W. A., Apps M. J., Webb T. M. e McNamee P. J. (1992). The carbon budget of the Canadian forest sector: phase I. Information Report NOR-X-326, Forestry Canada, Edmonton, 93 p.
- Kuusela K. (1994). Forest resources in Europe 1950-1990. European Forest Institute Research Report 1, Cambridge University Press, Cambridge, 154 p.
- Lamlom S. H. e Savidge R. A. (2003). A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. *Biomass and Bioenergy*, 25: 381-388.
- Lattuati-Derieux A., Bonnassies-Termes S. e Lavédrine B. (2004). Identification of volatile organic compounds emitted by a naturally aged book using solid-phase microextraction/gas chromatography/mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1026: 9-18.

- Law B. E., Sun O. J., Campbell J., Van Tuyl S. e Thornton P. E. (2003). Changes in carbon storage and fluxes in a chronosequence of ponderosa pine. *Global Change Biology*, 9(4): 510-524.
- Le Quéré C., Aumont O., Bopp L., Bousquet P., Ciais P., Francey R., Heimann M., Keeling R. F., Khesghi H., Peylin P., Piper S. C., Prentice I. C. e Rayner P. J. (2003). Two decades of ocean CO₂ sink and variability. *Tellus*, 55B: 649-656.
- Lehtonen A., Mäkipää R., Heikkinen J., Sievänen R. e Liski J. (2004). Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 188: 211-224.
- Leicester R. H. (2001). Engineered durability for timber construction. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 3: 216-227.
- Leppänen P., Pulakka S., Saari M. e Viitanen H. (1999). Life-cycle-cost optimised wooden multi-storey apartment building. VTT Research Notes 1994, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, 73 p.
- Lin J.-S. e Hildemann L. M. (1995). A nonsteady-state analytical model to predict gaseous emissions of volatile organic compounds from landfills. *Journal of Hazardous Materials*, 40: 271-295.
- Lindner M., Lucht W., Bouriaud O., Green T., Janssens I. A., Brumme R., Butterbach-Bahl K., Grace J., Lehtonen A., Lettens S., Liski J., Mencuccini M., Milne R., Nabuurs G.-J., Olsson M., Schadauer K., Troeltzsch K., Van Camp N., Vries W., Williams M. e Zaehle (2004). Specific study on forest greenhouse gas budget. CarboEurope - GHG, 62 p.
- Lindroth A., Grelle A. e Morén A.-S. (1998). Long-term measurements of boreal forest carbon balance reveal large temperature sensitivity. *Global Change Biology*, 4: 443-450.
- Lipor (2000). A caracterização dos resíduos sólidos. Cadernos técnicos Lipor nº 1, Lipor, Ermesinde, 137 p.
- Liski J., Pussinen A., Pingoud K., Mäkipää R. e Karjalainen T. (2001). Which rotation length is favourable to carbon sequestration? *Canadian Journal of Forest Research*, 31: 2004-2013.
- Liski J., Perruchoud D. e Karjalainen T. (2002). Increasing carbon stocks in the forest soils of Western Europe. *Forest Ecology and Management*, 169: 159-175.
- Liski J., Korotkov A. V., Prins C. F. L., Karjalainen T., Victor D. G. e Kauppi P. E. (2003a). Increased carbon sink in temperate and boreal forests. *Climatic Change*, 61: 89-99.
- Liski J., Nissinen A., Erhard M. e Taskinen O. (2003b). Climatic effects on litter decomposition from arctic tundra to tropical forest. *Global Change Biology*, 9: 575-584.
- Louro G., Marques H. e Salinas F. (2000). Elementos de apoio à elaboração de projectos florestais. Estudos e Informação nº 320, Direcção-Geral das Florestas, Lisboa, 123 p.
- Mackensen J. e Bauhus J. (1999). The decay of coarse woody debris. National Carbon Accounting System Technical Report No. 6, Australian Greenhouse Office, Canberra, 41 p.
- Mackensen J., Bauhus J. e Webber E. (2003). Decomposition rates of coarse woody debris - a review with particular emphasis on Australian tree species. *Australian Journal of Botany*, 51: 27-37.
- Macrae J. C. (1966). An introduction to the study of fuel. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 351 p.
- Madeira M. e Pereira J. S. (1991). Productivity, nutrient immobilization and soil chemical properties in an *Eucalyptus globulus* plantation under different irrigation and fertilization regimes. *Water, Air and Soil Pollution*, 54: 621-634.
- Madeira M., Azevedo A., Soares P., Tomé M. e Araújo M. C. (2002a). Efeitos da lavoura profunda e da gradagem nas características do solo e na produtividade de plantações de *Eucalyptus globulus*. *Revista de Ciências Agrárias*, 25(1/2): 158-169.

- Madeira M. V., Fabião A., Pereira J. S., Araújo M. C. e Ribeiro C. (2002b). Changes in carbon stocks in *Eucalyptus globulus* Labill. plantations induced by different water and nutrient availability. *Forest Ecology and Management*, 171(1-2): 78-85.
- Malhi Y., Nobre A. D., Grace J., Kruijt B., Pereira M. G. P., Culf A. e Scott S. (1998). Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research*, D24: 31593-31612.
- Manninen A.-M., Pasanen P. e Holopainen J. K. (2002). Comparing the VOC emissions between air-dried and heat-treated Scots pine wood. *Atmospheric Environment*, 36: 1763-1768.
- Manriquez A. C. (2002). Carbon sequestration in the Pacific Northwest: a model. Master's Thesis, College of Forest Resource, University of Washington, Seattle, 158 p.
- Marland G., Schlamadinger B. e Canella L. (1997). Forest management for mitigation of CO₂ emissions: how much mitigation and who gets the credits. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2: 303-318.
- Martin N., Anglani N., Einstein D., Khrushch M., Worrel E. e Price L. K. (2000). Opportunities to improve energy efficiency and reduce greenhouse gas emissions in the U.S. pulp and paper industry. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, 56 p.
- Martin P. H., Valentini R., Jacques M., Fabbri K., Galati D., Quarantino R., Moncrieff J. B., Jarvis P., Jensen N. O., Lindroth A., Grelle A., Aubinet M., Ceulemans R., Kowalski A. S., Vesala T., Keronen P., Matteucci G., Granier A., Berbigier P., Loustau D., Schulze E.-D., Tenhunen J., Rebmann C., Dolman A. J., Elbers J. E., Bernhofer C., Grünwald T., Thorgeirsson H., Kennedy P. e Folving S. (1998). New estimate of the carbon sink strength of EU forests integrating flux measurements, field surveys, and space observations: 0.17-0.35 Gt(C). *Ambio*, 27: 582-584.
- Martins A., Fernandes M., Seixas J., Martinho S. e Moura F. (2001). Programa nacional para as alterações climáticas - estudos de base para a fundamentação do programa. Versão 2001 para discussão pública. Direcção-Geral do Ambiente, Lisboa, 176 p.
- Masera O. R., Garza-Caligaris J. F., Kanninen M., Karjalainen T., Liski J., Nabuurs G. J., Pussinen A., de Jong B. H. J. e Mohren G. M. J. (2003). Modelling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects: the CO2FIX V.2 approach. *Ecological Modelling*, 164: 177-199.
- Matthews R. W., Nabuurs G. J., Alexyeyev V., Birdsey R. A., Fischlin A., Maclaren J. P., Marland G. e Price D. T. (1996). WG3 Summary: evaluating the role of forest management and forest products in the carbon cycle. In: Apps M. J. e Price D. T. (eds.), *Forest ecosystems, forest management, and the global carbon cycle: proceedings of the NATO Advanced Research Workshop "The Role of Global Forest Ecosystems and Forest Research Management in the Global Cycle"*, held in Banff, Canada, September 12-16, 1994, NATO ASI Series, Series I: Global Environmental Change, Vol. 40, Springer-Verlag, Berlin: 293-301.
- McGettigan M. e Duffy P. (2003). Ireland: national inventory report - greenhouse gas emissions 1990-2001 reported to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Environmental Protection Agency, Wexford, 128 p.
- McGuire A. D., Clein J. S., Melillo J. M., Kicklighter D. W., Meier R. A., Vorosmarty C. J. e Serreze M. C. (2000). Modelling the effects of snowpack on heterotrophic respiration across northern temperate and high latitude regions: comparisons with measurements of atmospheric carbon dioxide in high latitudes. *Biogeochemistry*, 48: 91-114.
- Melo J. R. e Pastor M. C. (1982a). As indústrias de celulose e papel em Portugal - aprovisionamento em fibra, produção, consumo e comércio externo. *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Madeiras*(33): 5-16.
- Melo J. R. e Pastor M. C. (1982b). As indústrias de celulose e papel em Portugal - aprovisionamento em fibra, produção, consumo e comércio externo. *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Madeiras*(35): 17-24.
- Mendham D. S., O'Connell A. M., Grove T. S. e Rance S. J. (2003). Residue management effects on soil carbon and nutrient contents and growth of second rotation eucalypts. *Forest Ecology and Management*, 181: 357-372.

- Micales J. A. e Skog K. E. (1997). The decomposition of forest products in landfills. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 39(2-3): 145-158.
- Militz H. e Tjeerdsma B. (2001). Heat treatment of wood by the "plato-process". In: Rapp A. O. (ed.), Review on heat treatments of wood - Proceedings of Special Seminar of COST Action E22 held in Antibes, France on 9 February 2001, European Commission/The Federal Research Centre for Forestry and Forest Products, Hamburg: 27-37.
- Miner R. e Upton B. (2002). Methods for estimating greenhouse gas emissions from lime kilns at kraft pulp mills. *Energy*, 27: 729-783.
- Miranda I., Almeida M. H. e Pereira H. (2001). Provenance and site variation of wood density in *Eucalyptus globulus* Labill. at harvest age and its relation to a non-destructive early assessment. *Forest Ecology and Management*, 149: 235-240.
- Möllersten K. (2002). Opportunities for CO₂ reductions and CO₂-lean energy systems in pulp and paper mills. Doctoral Thesis, Department of Chemical Engineering and Technology, Energy Processes, Royal Institute of Technology, Stockholm, 49 p.
- Monni S., Syri S., Pipatti R. e Savolainen I. (2004a). Comparison of uncertainty in different emission trading schemes. In: Proceedings of the International Workshop on Uncertainty in Greenhouse Gas Inventories: Verification, Compliance and Trading, Systems Research Institute, Polish Academy of Sciences, Warsaw: 106-115.
- Monni S., Syri S. e Savolainen I. (2004b). Uncertainties in the Finnish greenhouse gas emission inventory. *Environmental Science & Policy*, 7: 87-98.
- Moro M. J. e Domingo F. (2000). Litter decomposition in four woody species in a mediterranean climate: weight loss, N and P dynamics. *Annals of Botany*, 86: 1065-1071.
- Morris P. I. (1998). Understanding biodeterioration of wood in structures. Forintek Canada Corp./British Columbia Building Envelope Council, Vancouver, 23 p.
- Mund M., Kummetz E., Hein M., Bauer G. A. e Schulze E.-D. (2002). Growth and carbon stocks of a spruce forest chronosequence in central Europe. *Forest Ecology and Management*, 171: 275-296.
- Myneni R. B., Hall F. G., Sellers P. J. e Marshak A. L. (1995). The interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33: 481-486.
- Myneni R. B., Dong J., Tucker C. J., Kaufmann R. K., Kauppi P. E., Liski J., Zhou L., Alexeyev V. e Hughes M. K. (2001). A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(26): 14784-14789.
- Nabuurs G. J. (1996). Significance of wood products in the forest sector carbon balances. In: Apps M. J. e Price D. T. (eds.), Forest ecosystems, forest management, and the global carbon cycle: proceedings of the NATO Advanced Research Workshop "The Role of Global Forest Ecosystems and Forest Research Management in the Global Cycle", held in Banff, Canada, September 12-16, 1994, NATO ASI Series, Series I: Global Environmental Change, Vol. 40, Springer-Verlag, Berlin: 245-256.
- Nabuurs G. J. e Mohren G. M. J. (1993). Carbon fixation through forestation activities. IBN Research Report 93/4, Institute for Forestry and Nature Research, Wageningen, 205 p.
- Nabuurs G. J. e Sikkema R. (1998). The role of harvested wood products in national carbon balances - an evaluation of alternatives for IPCC guidelines. IBN-Research Report 98/3, Institute for Forestry and Nature Research, Wageningen, 53 p.
- Nabuurs G. J. e Schelhaas M. J. (2002). Carbon profiles of typical forest types across Europe assessed with CO2FIX. *Ecological Indicators*, 1: 213-223.
- Nabuurs G. J. e Sikkema R. (2001). International trade in wood products: its role in the land use change and forestry carbon cycle. *Climatic Change*, 49: 377-395.

- Nabuurs G. J., Päivinen R., Sikkema R. e Mohren G. M. J. (1997). The role of European forests in the global carbon cycle - a review. *Biomass and Bioenergy*, 13(6): 345-358.
- Nabuurs G. J., Schelhaas M.-J., Mohren G. M. J. e Field C. B. (2003). Temporal evolution of the European forest sector carbon sink from 1950 to 1999. *Global Change Biology*, 9: 152-160.
- NCASI (2002). Calculation tools for estimating greenhouse gas emissions from pulp and paper mills. Version 1.0, National Council for Air and Stream Improvement, Research Triangle Park, 154 p.
- Neevel J. G. (1995). Phytate: a potential conservation agent for the treatment of ink corrosion caused by iron galls. *Restaurator*, 16: 143-160.
- Nemani R. R., Keeling C. D., Hashimoto H., Jolly W. M., Piper S. C., Tucker C. J., Myneni R. B. e Running S. W. (2003). Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science*, 300: 1560-1563.
- Nilsson S., Shvidenko A. e Jonas M. (2004). Uncertainties of the regional terrestrial biota full carbon account: a systems analysis. In: Proceedings of the International Workshop on Uncertainty in Greenhouse Gas Inventories: Verification, Compliance and Trading, Systems Research Institute, Polish Academy of Sciences, Warsaw: 1-12.
- Nireki T. (1996). Service life design. *Construction and Building Materials*, 10(5): 403-406.
- Normand X. e Treil A. (1985). L'industrie du raffinage du pétrole - leçons sommaires. Éditions Technip, Paris, 363 p.
- NZFOA (1992). New Zealand radiata pine user manual. New Zealand Forest Owners' Association, Wellington.
- Obersteiner M. (1999). Carbon budget of the forest industry of the Russian Federation: 1928-2012. Interim Report IR-99-033, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, 32 p.
- OFEFP (1998). Inventaires écologiques relatifs aux emballages. Cahier de l'Environnement n° 250, Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage, Berne.
- Oliveira A. C. (1999a). Manual de boas práticas florestais para o pinheiro bravo. Centro Pinus, Porto, 32 p.
- Oliveira A. C. (1999b). Manual de silvicultura do pinheiro bravo. Centro Pinus, Porto, 20 p.
- Oliveira A. C., Pereira J. S. e Correia A. V. (2000). A silvicultura do pinheiro bravo. Centro Pinus, Porto, 111 p.
- Olsthoorn X. e Pielaat A. (2003). Tier-2 uncertainty analysis of the Dutch greenhouse gas emissions 1999. Institute for Environmental Studies, Amsterdam, 154 p.
- Oonk H. e Boom T. (2000). Landfill gas emission measurements using a mass-balance method. In: Proceedings of the 1st Intercontinental Landfill Research Symposium, Lulea University of Technology, Lulea.
- Oreskes N. (2004). The scientific consensus on climate change. *Science*, 306: 1686.
- Paes J. B., Moraes V. M. e Lima C. R. (2004). Resistência natural de nove madeiras do semi-árido brasileiro a fungos xilófagos em condições de laboratório. *Revista Árvore*, 28(2): 275-282.
- Palisade Corporation (2002). Guide to using @Risk. Palisade Corporation, Newfield, 499 p.
- Palisade Corporation (2004). @Risk - advanced risk analysis for spreadsheets. Version 4.5, Palisade Corporation, Newfield.
- Palmer C. J., Smith W. D. e Conkling B. L. (2002). Development of a protocol for monitoring status and trends in forest soil carbon at a national level. *Environmental Pollution*, 116: S209-S219.

- Pan Y., Luo T., Birdsey R., Hom J. e Melillo J. (2004). New estimates of carbon storage and sequestration in China's Forests: effects of age-class and method on inventory-based carbon estimation. *Climatic Change*, 67: 211-236.
- Papale D. e Valentini R. (2003). A new assessment of European forests carbon exchanges by eddy fluxes and artificial neural network spatialization. *Global Change Biology*, 9: 525-535.
- Pastor M. C. (1978). A indústria de aglomerados de madeira em Portugal - panorâmica do sector. *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Madeiras*(20): 47-50.
- Pedroso M. M. A. (1977). A valorização dos desperdícios de pinheiro bravo nas indústrias de serração em Portugal. *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Madeiras*(13): 24.
- Pedroso M. M. A. (1987). A indústria de serração de madeiras, seu enquadramento nas indústrias florestais. *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Madeiras*(55): 9-13.
- Peralta R. C. G., Menezes E. B., Carvalho A. G. e Aguiar-Menezes E. L. (2004). Wood consumption rates of forest species by subterranean termites (Isoptera) under field conditions. *Revista Árvore*, 28(2): 283-289.
- Pereira H. (1994). The raw-material quality of *Eucalyptus globulus*. In: Pereira J. S. e Pereira H. (eds.), *Eucalyptus for biomass production*, Commission of the European Communities, Lisbon: 294-299.
- Pereira H. e Araújo M. C. (1990). Raw-material quality of fast grown *Eucalyptus globulus* during the first year. *IAWA Bulletin*, 11: 421-427.
- Pereira H. e Miranda I. (1992). Chemical composition of wood and bark of fast grown *Eucalyptus globulus* trees during the first 3 years. In: Grassi G., Collina A. e Zibetta H. (eds.), *Biomass for energy, industry and environment*, Elsevier Applied Science Publications, London: 186-190.
- Pereira J. S., Tomé M., Madeira M., Oliveira A. C., Tomé J. e Almeida M. H. (1996). Eucalypt plantations in Portugal. In: Attiwill P. M. e Adams M. A. (eds.), *Nutrition of Eucalypts*, CSIRO Publishing: 371-387.
- Pereira J. S., Pita G., Silva J., Fabião A., Carneiro M., Nogueira C., Rodrigues A., Madeira M. e Ribeiro E. (2003). Full carbon balance in an eucalypt plantation in Portugal. In: *Symposium The Carbon Balance of Forest Biomes*, Society of Experimental Biology / British Ecology Society, Southampton.
- Perry R. H. e Green D. W. (1997). *Perry's chemical engineers' handbook*. 7th edition, McGraw-Hill, New York.
- Petersen A. K. e Solberg B. (2002). Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction. Case: beams at Gardermoen airport. *Environmental Science & Policy*, 5: 169-182.
- Phillips O. L., Malhi Y., Higuchi N., Laurance W. F., Nunez P. V., Vasquez R. M., Laurance S. G., Ferreira L. V., Stern M., Brown S. e Grace J. (1998). Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots. *Science*, 282: 439-442.
- Pignard G., Dupouey J. L., Arrouays D. e Loustau D. (2000). Carbon stocks estimates for French forests. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 4: 285-289.
- Pinard M. A. e Cropper W. P. (2000). Simulated effects of logging on carbon storage in dipterocarp forest. *Journal of Applied Ecology*, 37: 267-283.
- Pingoud K. e Lehtilä A. (2002). Fossil carbon emissions associated with carbon flows of wood products. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7: 63-83.
- Pingoud K., Savolainen I. e Seppälä H. (1996). Greenhouse impact of the Finnish forest sector including forest products and waste management. *Ambio*, 25(5): 318-326.
- Pingoud K., Perälä A.-L. e Pussinen A. (2001). Carbon dynamics in wood products. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 6: 91-111.

- Pingoud K., Perälä A.-L., Soimakallio S. e Pussinen A. (2003). Greenhouse gas impacts of harvested wood products. Evaluation and development of methods. VTT Research Notes 2189, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, 136 p.
- Pinto I. (2004). Raw material characteristics of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) and their influence on simulated sawing yield. VTT Publications 533, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, 51+ap. 69 p.
- Pinto M. J. e Soares J. A. (1985). Madeira serrada portuguesa para caixas e palettes: enquadramento e perspectivas. *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Madeiras*(47): 9-15.
- Plattner G., Joos F. e Stocker T. F. (2002). Revision of the global carbon budget due to changing air-sea oxygen fluxes. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(4): 1096.
- Poker J., Dieter M. e Thoroe C. (2002). Integration of harvested wood products into accounting approaches of the carbon dioxide cycle in the forestry sector. Working Paper 2002/03, Institute for Economics, Federal Research Centre for Forestry and Forest Products, Hamburg, 19 p.
- Porck H. J. (2000). Rate of paper degradation - the predictive value of artificial aging tests. European Commission on Preservation and Access, Amsterdam, 40 p.
- Porck H. J. e Teygeler R. (2000). Preservation science survey - an overview of recent developments in research on the conservation of selected analog library and archival materials. Council on Library and Information Resources, Washington, 68 p.
- Porté A., Trichet P., Bert D. e Loustau D. (2002). Allometric relationships for branch and tree woody biomass of Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Forest Ecology and Management*, 158: 71-83.
- Portela J. (1993). Floresta e indústrias da fileira florestal. Estudos e documentos nº6, Caixa Geral de Depósitos, 112 p.
- Post W. M. (2002). Global distribution of soil organic matter in world ecosystems. In: Lal R. (ed.), *Encyclopedia of Soil Science*, Marcel Dekker, Inc., New York: 899-904.
- Potter C. S. (1999). Terrestrial biomass and the effects of deforestation on the global carbon cycle - results from a model of primary production using satellite observations. *BioScience*, 49(10): 769-778.
- Potter C., Klooster S., Bubenheim D., Singh H. B. e Myneni R. (2003a). Modeling terrestrial biogenic sources of oxygenated organic emissions. *Earth Interactions*, 7(7): 1-15.
- Potter C., Klooster S., Myneni R., Genovese V., Tan P.-N. e Kumar V. (2003b). Continental-scale comparisons of terrestrial carbon sinks estimated from satellite data and ecosystem modeling 1982-1998. *Global and Planetary Change*, 39: 201-213.
- Prentice I. C., Farquhar G. D., Fasham M. J. R., Goulden M. L., Heimann M., Jaramillo V. J., Kheshgi H. S., Le Quere C., Scholes R. J., Wallace D. W. R., Archer D., Ashmore M. R., Aumont O., Baker D., Battle M., Bender M., Bopp L. P., Bousquet P., Caldeira K., Ciais P., Cox P. M., Cramer W., Cramer W., Dentener I. G., Enting I. G., Field C. B., Friedlingstein P., Holland E. A., Houghton R. A., House J. I., Ishida A., Jain A. K., Janssens I. A., Joos F., Kaminski T., Keeling C. D., Keeling R. F., Kicklighter D. W., Hohfeld K. E., Knorr W., Law R., Lenton T., Lindsay K., Maier-Reimer E., Manning A. C., Matear R. J., McGuire A. D., Melillo J. M., Meyer R., Mund M., Orr J. C., Piper S., Plattner K., Rayner P. J., Sitch S., Slater R., Taguchi S., Tans P. P., Tian H. Q., Weirig M. F., Whorf T. e Yool A. (2001). The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. In: Houghton J. T., Ding Y., Griggs D. J., Noguer M., van der Linden P. J., Dai X., Maskell K. e Johnson C. A. (eds.), *Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge: 183-237.
- Prieur A. e Combarnous M. (2003). Forêts et cycles de vie: aspects énergétiques, produits, carbone stocké. XII World Forestry Congress, Québec City, Canada, <http://www.fao.org/DOCREP/ARTICLE/WFC/XII/0037-B2.HTM>.

- Proniewicz L. M., Paluszkiwicz C., Weselucha-Birczynska A., Majcherczyk H., Baranski A. e Konieczna A. (2001). FT-IR and FT-Raman study of hydrothermally degraded cellulose. *Journal of Molecular Structure*, 596: 163-169.
- Pussinen A., Karjalainen T., Kellomäki S. e Mäkipää R. (1997). Contribution of the forest sector in carbon sequestration in Finland. *Biomass and Bioenergy*, 13: 377-387.
- Putz C. (2003). Archivable papers: a report on acid-free and lignin-free paper. Hewlett-Packard Company, 10 p.
- Quercus (1995). Caracterização dos resíduos sólidos urbanos e inventariação dos locais de deposição em Portugal. Quercus - Associação Nacional de Conservação da Natureza, Lisboa.
- Quilhó T. e Pereira H. (2001). Within and between-tree variation of bark content and wood density of *Eucalyptus globulus* in commercial plantations. *IAWA Journal*, 22(3): 255-265.
- Rapp A. O. e Sailer M. (2001). Oil heat treatment of wood in Germany - state of the art. In: Rapp A. O. (ed.), Review on heat treatments of wood - Proceedings of Special Seminar of COST Action E22 held in Antibes, France on 9 February 2001, European Commission/The Federal Research Centre for Forestry and Forest Products, Hamburg: 47-64.
- Rathje W. L. (1996). The archaeology of us. In: Ciegelski C. (ed.), Encyclopaedia Britannica's Yearbook of Science and the Future, Encyclopaedia Britannica, New York: 158-177.
- Rayner P. J., Enting I. G., Francey R. J. e Langenfelds R. (1999). Reconstructing the carbon cycle from atmospheric CO₂, $\delta^{13}\text{C}$ and O₂/N₂ observations. *Tellus*, 51B: 213-232.
- Reyes G. S., Brown S., Chapman J. e Lugo A. E. (1992). Wood densities of tropical tree species. General Technical Report SO-88, USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, New Orleans, 15 p.
- Ribeiro C. e Madeira M. (2004). Decomposition and nutrient release from root litter of *Eucalyptus globulus* and *Pinus pinaster* in Mediterranean conditions. In: International symposium: forest soils under global and local changes: from research to practice, IUSS / IUFRO / IEFC / INRA / ENITA de Bordeaux, Bordeaux: 89-90.
- Ribeiro C., Madeira M. e Araújo M. C. (2002). Decomposition and nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* grown under different water and nutrient regimes. *Forest Ecology and Management*, 171: 31-41.
- Rödenbeck C., Houweling S., Gloor M. e Heimann M. (2003). CO₂ flux history 1982-2001 inferred from atmospheric data using a global inversion of atmospheric transport. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 3: 1919-1964.
- Rosenbaum K. L., Schoene D. e Mekouar A. (2004). Climate change and the forest sector - possible national and subnational legislation. FAO Forestry Paper 144, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 60 p.
- Row C. e Phelps R. B. (1996). Wood carbon flows and storage after timber harvest. In: Sampson R. N. e Hair D. (eds.), Forest and global change: forest management opportunities for mitigating and adapting to climate change (vol II), American Forests, Washington: 27-58.
- Ruth M., Davidsdottir B. e Laitner S. (2000). Impacts of market-based climate change policies on the US pulp and paper industry. *Energy Policy*, 28(4): 259-270.
- Rydholm S. A. (1965). Pulping processes. Interscience Publishers, New York, 983 p.
- Rypdal K. e Winiwarter W. (2001). Uncertainties in greenhouse gas emission inventories - evaluation, comparability and implications. *Environmental Science & Policy*, 4: 107-116.
- Rypdal K. e Baritz R. (2002). Estimating and managing uncertainties in order to detect terrestrial greenhouse gas removals. CICERO Working Paper 2002:07, Center for International Climate and Environmental Research, Oslo, 10 p.

- Sampaio J. S. e Mello A. S. (1975). A indústria de serração, sua situação actual e perspectivas de reorganização. *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Madeiras*(5): 9-21.
- Sampson R., Apps M., Brown S., Cole C., Downing J., Heath L., Ojima D., Smith T., Solomon A. e Wisniewski J. (1993). Workshop summary statement: terrestrial biospheric carbon fluxes - quantification of sinks and sources of CO₂. *Water, Air and Soil Pollution*, 70(1-4): 3-15.
- Santos C. C. F. (1986). Alguns aspectos técnicos relacionados com a indústria de parquet mosaico. *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Madeiras*(52): 23-34.
- Santos C. C. F. e Falcão L. A. (1980). Algumas considerações sobre o sector das pastas para papel em Portugal - panorâmica das empresas produtoras de pastas. *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Madeiras*(26): 9-34.
- Saraiva I. M. e Martins A. (1975). As indústrias de celulose e de painéis de fibra e de partículas, sua situação actual e viabilidade de expansão. *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Madeiras*(5): 24-33.
- Schade G. W. e Goldstein A. H. (2001). Fluxes of oxygenated volatile organic compounds from a ponderosa pine plantation. *Journal of Geophysical Research*, 106(D3): 3111-3124.
- Schimel D., Melillo J., Tian H., McGuire A. D., Kicklighter D., Kittel T., Rosenbloom N., Running S., Thornton P., Ojima D., Parton W., Kelly R., Sykes M., Neilson R. e Rizzo B. (2000). Contribution of increasing CO₂ and climate to carbon storage by ecosystems in the United States. *Science*, 287: 2004-2006.
- Schlamadinger B. e Marland G. (1999). Net effect of forest harvest on CO₂ emissions to the atmosphere: a sensitivity analysis on the influence of time. *Tellus*, 51B: 314-325.
- Schlamadinger B., Apps M., Bohlin F., Gustavsson L., Jungmeier G., Marland G., Pingoud K. e Savolainen I. (1997). Towards a standard methodology for greenhouse gas balances of bioenergy systems in comparison with fossil energy systems. *Biomass and Bioenergy*, 13(6): 359-375.
- Schuetz C., Bogner J., Chanton J., Blake D., Morcet M. e Kjeldsen P. (2003). Comparative oxidation and net emissions of methane and selected non-methane organic compounds in landfill cover soils. *Environmental Science and Technology*, 37: 5150-5158.
- Schultz T. P. e Nicholas D. D. (2000). Naturally durable heartwood: evidence for a proposed dual defensive function of the extractives. *Phytochemistry*, 54: 47-52.
- Schwaiger H. e Schlamadinger B. (1998). The potential of fuelwood to reduce greenhouse gas emissions in Europe. *Biomass and Bioenergy*, 15(4-5): 369-377.
- Schwaiger H. e Zimmer B. (2001). A comparison of fuel consumption and greenhouse gas emissions from forest operations in Europe. In: Karjalainen T., Zimmer B., Berg S., Welling J., Schwaiger H., Finér L. e Cortijo P. (eds.), *Energy, carbon and other material flows in the life cycle assessment of forestry and forest products - achievements of the working group 1 of the COST Action E9, Discussion Paper 10*, European Forest Institute, Joensuu: 33-53.
- Sedjo A. R. (2002). Wood materials used as a means to reduce greenhouse gases (GHGs): an examination of wood utility poles. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7(2): 191-200.
- Seppälä J., Melanen M., Jouttijärvi T., Kauppi L. e Leikola N. (1998). Forest industry and the environment: a life cycle assessment study from Finland. *Resources, Conservation and Recycling*, 23: 87-105.
- Sikkema R., Schelhaas M. J. e Nabuurs G. J. (2002). International carbon accounting of harvested wood products: evaluation of two models for the quantification of wood product related emissions and removals. Contribution of The Netherlands to the international collaborative study. Report 410 200 111, Alterra and Form Ecology Consultants, Wageningen and Hattem, 73 p.
- Sitch S., Smith B., Prentice I. C., Arneeth A., Bondeau A., Cramer W., Kaplan J. O., Levis S., Lucht W., Sykes M. T., Thonicke K. e Venevsky S. (2003). Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ dynamic global vegetation model. *Global Change Biology*, 9: 161-185.

- Sjöström E. (1981). Wood chemistry: fundamentals and applications. Academic Press, New York, 223 p.
- Skog K. E. e Nicholson G. A. (1998). Carbon cycling through wood products: the role of wood and paper products in carbon sequestration. *Forest Products Journal*, 48(7): 75-83.
- Skog K. E. e Nicholson G. A. (2000). Carbon sequestration in wood and paper products. In: Joyce L. A. e Birdsey R. (eds.), The impact of climate change on America's forests: a technical document supporting the 2000 USDA Forest Service RPA Assessment, General Technical Report RMRS-GTR-59, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Fort Collins: 79-88.
- Skog K. E., Pingoud K. e Smith J. E. (2004). A method countries can use to estimate changes in carbon stored in harvested wood products and the uncertainty of such estimates. *Environmental Management*, 33(Supplement 1): S65-S73.
- Sligh P. (1999). Kraft mill lime kiln - a greenhouse gas emitter? *Appita Journal*, 52(5): 339-341.
- Smith A. (1999). The future of the past: preservation in American research libraries. Council on Library and Information Resources, Washington, 20 p.
- Smith J. E. e Heath L. S. (2000). Considerations for interpreting probabilistic estimates of uncertainty of forest carbon. In: Joyce L. A. e Birdsey R. (eds.), The impact of climate change on America's forests: a technical document supporting the 2000 USDA Forest Service RPA Assessment, General Technical Report RMRS-GTR-59, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Fort Collins: 102-111.
- Smith J. E. e Heath L. S. (2001). Identifying influences on model uncertainty: an application using a forest carbon budget model. *Environmental Management*, 27(2): 253-267.
- Smith P., Smith J. U., Powlson D. S., McGill W. B., Arah J. R. M., Chertov O. G., Coleman K., Franko U., Frolking S., Jenkinson D. S., Jensen L. S., Kelly R. H., Klein-Gunnewiek H., Komarov A. S., Li C., Molina J. A. E., Mueller T., Parton W. J., Thornley J. H. M. e Whitmore A. P. (1997). A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma*, 81: 153-225.
- Soares J. A. (1984). Alguns dados sobre a indústria e o comércio de painéis de partículas. *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Madeiras*(43): 3-6.
- Soares J. A. e Saraiva I. M. C. (1981). A indústria do papel e cartão em 1979. *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais - Madeiras*(30): 27-36.
- Strlic M. e Kolar J. (2002). Evaluating and enhancing paper stability - needs and recent trends. In: Proceedings of the 5th European Commission Conference - Cultural Heritage Research: a Pan-European Challenge, Institute of Catalysis and Surface Chemistry, Polish Academy of Sciences, Cracow: 79-86.
- Subak S. e Craighill A. (1999). The contribution of the paper cycle to global warming. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4: 113-135.
- Svirezhev Y. M. (1999). Simplest dynamic models of the global vegetation pattern. *Ecological Modelling*, 124: 131-144.
- Swarbrick G., Lethlean J. e Pantelis G. (1995). Physical and biochemical modelling of solid waste. In: Proceedings Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium, CISA - Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari: 209-217.
- Talkkari A. e Hypén H. (1996). Development and assessment of a gap-type model to predict the effects of climate change on forests based on spatial forest area. *Forest Ecology and Management*, 83: 217-228.
- Tarnawski W. (2004). Emission factors for combustion of biomass fuels in the pulp and paper mills. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 12(3): 91-95.
- Tavares M. (1989). O pinhal bravo das dunas do litoral entre Douro e Mondego. Produção lenhosa e crescimento do sistema radical. Dissertação original, Estação Florestal Nacional, Lisboa.

Teixeira C. L. (1998). Ações florestais em áreas da Reserva Ecológica Nacional. Estudos e Informação nº 317, Direcção-Geral das Florestas, Lisboa, 58 p.

Thornley J. H. M. e Cannell M. G. R. (2000). Managing forests for wood yield and carbon storage: a theoretical study. *Tree Physiology*, 20: 477-484.

Thornton J. D., Johnson G. C. e Nguyen N. (1991). An in-ground natural durability field test of Australian timbers and exotic reference species. *Material und Organismen*, 26: 1-17.

Thornton J. D., Johnson G. C. e Nguyen N. (1996). Revised natural durability ratings for the outer heartwood of mature Australian timbers in ground contact. In: Proceedings of the 25th Forest Products Research Conference, CSIRO Forestry and Forest Products, Victoria.

Thornton J. D., Johnson G. C. e Nguyen N. (1997). Revised CSIRO natural durability classification: in-ground durability for mature outer heartwood. CSIRO Forestry and Forest Products, Victoria.

Tucker C. J., Townshend J. R. G., Goff T. E. e Holben B. N. (1986). Continental and global scale remote sensing of land cover. In: Trabalka J. R. e Reichle D. E. (eds.), *The changing carbon cycle: a global analysis*, Springer-Verlag, New York: 221-241.

Turner D. P., Koerper G. J., Harmon M. E. e Lee J. J. (1995). A carbon budget for forests of the conterminous United States. *Ecological Applications*, 5(2): 421-436.

Turner J. e Lambert M. (2000). Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. *Forest Products Journal*, 133: 231-247.

UN (1992). United Nations framework convention on climate change. United Nations, New York, 33 p.

UNECE (2002). Forest Products Statistics: 1997-2001. Timber Bulletin ECE/TIM/BULL/55/2, United Nations Economic Commission for Europe, Geneva.

UNECE (2004). Timber database. United Nations Economic Commission for Europe, <http://www.unece.org/trade/timber/mis/fp-stats.htm#Database>. Last update July 2004.

UNECE/FAO (1992). The forest resource assessment of the temperate zones - the UN-ECE/FAO 1990 forest resource assessment. ECE/TIM/62, New York and Geneva, 348 p.

UNECE/FAO (2000). Forest resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zealand (industrialized temperate/boreal countries), UN-ECE/FAO contribution to the global forest resources assessment 2000. Geneva Timber and Forest Study Papers No. 17, New York and Geneva, 445 p.

UNEP (2000). The Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer as either adjusted and/or amended in London 1990, Copenhagen 1992, Vienna 1995, Montreal 1997 and Beijing 1999. Ozone Secretariat, United Nations Environment Programme, Nairobi, 47 p.

UNEP e UNFCCC (2002). Climate change information kit. United Nations Environment Programme/United Nations Framework Convention on Climate Change, Geneva/Bonn, 60 p.

UNFCCC (1998). Report of the Conference of the Parties on its third session, held at Kyoto from 1 to 11 December 1997 - Part two: action taken by the Conference of the Parties at its third session. FCCC/CP/1997/7/Add.1, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, 60 p.

UNFCCC (2002). Decision 11/CP.7: land use, land-use change and forestry. In: Report of the Conference of the Parties on its seventh session, held at Marrakesh from 29 October to 10 November 2001, addendum, part two: action taken by the Conference of the Parties, volume I, FCCC/CP/2001/13/Add.1, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn: 54-63.

UNFCCC (2003a). Estimation, reporting and accounting of harvested wood products - technical paper. FCCC/TP/2003/7, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, 44 p.

UNFCCC (2003b). Methodological issues: harvested wood products. FCCC/SBSTA/2003/L.21, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, 2 p.

UNFCCC (2004). Good practice guidance and other issues relating to land use, land-use change and forestry. FCCC/SBSTA/2004/L.26, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, 2 p.

UNFCCC (2005). www.unfccc.int.

União Europeia (2002). Decisão 2002/358/CE do Conselho de 25 de Abril de 2002 relativa à aprovação, em nome da Comunidade Europeia, do Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas e ao cumprimento conjunto dos respectivos compromissos. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, L130: 1-20.

USDA Forest Service (1987). Wood handbook: wood as an engineering material. Agriculture Handbook No 72, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, 220 p.

USDA Forest Service (1999). Wood handbook: wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-113, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, 463 p.

USEPA (2002). Solid waste management and greenhouse gases - a life-cycle assessment of emissions and sinks. EPA 530-R-02-006, 2nd Edition, United States Environmental Protection Agency, Washington, 136 p.

Valente C. A., Sousa A. P. M., Furtado F. P. e Carvalho A. P. (1992). Improvement program for *Eucalyptus globulus* at Portucel: technological component. *Appita Journal*, 45: 403-407.

Valentini R., Matteucci G., Dolman A. J., Schulze E.-D., Rebmann C., Moors E. J., Granier A., Gross P., Jensen N. O., Pilegaard K., Lindroth A., Grelle A., Bernhofer C., Grünwald T., Aubinet M., Ceulemans R., Kowalski A. S., Vesala T., Rannik U., Berbigier P., Loustau D., Guomundsson J., Thorgeirsson H., Ibrom A., Morgenstern K., Clement R., Moncrieff J., Montagnani L., Minerbi S. e Jarvis P. G. (2000). Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests. *Nature*, 404: 861-865.

Van Acker J. e Stevens M. (2003). Biological durability of wood in relation to end-use - Part 2: the use of an accelerated outdoor L-joint performance test. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 61: 125-132.

Vernois M. (2001). Heat treatment of wood in France - state of the art. In: Rapp A. O. (ed.), Review on heat treatments of wood - Proceedings of Special Seminar of COST Action E22 held in Antibes, France on 9 February 2001, European Commission/The Federal Research Centre for Forestry and Forest Products, Hamburg: 39-46.

Veroustraete F., Sabbe H. e Eerens H. (2002). Estimation of carbon mass fluxes over Europe using the C-Fix model and Euroflux data. *Remote Sensing of Environment*, 83: 376-399.

Vesterdal L., Ritter E. e Gundersen P. (2002). Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land. *Forest Ecology and Management*, 169: 137-147.

Wang C., Bond-Lamberty B. e Gower S. T. (2003). Carbon distribution of a well- and poorly-drained black spruce fire chronosequence. *Global Change Biology*, 9(7): 1066-1079.

Wang Y. S., Byrd C. S. e Barlaz M. A. (1994). Anaerobic biodegradability of cellulose and hemicellulose in excavated refuse samples using a biochemical methane potential assay. *Journal of Industrial Microbiology*, 13: 147-153.

Wardle P., van Brusselen J., Michie B. e Schuck A. (2003). Forest products statistical information systems of EU and EFTA. European Forest Institute Research Report 16, Leiden, 165 p.

White A., Cannell M. G. R. e Friend A. D. (2000a). CO₂ stabilization, climate change and the terrestrial carbon sink. *Global Change Biology*, 6: 817-833.

White A., Cannell M. G. R. e Friend A. D. (2000b). The high-latitude terrestrial carbon sink: a model analysis. *Global Change Biology*, 6: 227-245.

Winiwarter W. e Rypdal K. (2001). Assessing the uncertainty associated with national greenhouse gas emission inventories: a case study for Austria. *Atmospheric Environment*, 35: 5425-5440.

Winjum J. K., Brown S. e Schlamadinger B. (1998). Forest harvests and wood products: sources and sinks of atmospheric carbon dioxide. *Forest Science*, 44(2): 272-284.

WMO (2003). Scientific assessment of ozone depletion: 2002. Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 47, World Meteorological Organization, Geneva, 499 p.

Wuebbles D. J. e Hayhoe K. (2002). Atmospheric methane and global change. *Earth-Science Reviews*, 57: 177-210.

Young A. (1995). Mathematical modeling of the methanogenic ecosystem. In: Senior E. (ed.), *Microbiology of landfill sites*, Lewis Publisher, Ann Arbor: 67-89.

Young R. J., Tonelli J. P., Côté W. A. e Row C. (1999). A study of net carbon sequestration at integrated pulp and paper mills. *International Paper*, Cincinnati, 43 p.

Zhang X.-Q. e Xu D. (2003). Potential carbon sequestration in China's forests. *Environmental Science & Policy*, 6: 421-432.

Zhu J. P., Zhang J. S. e Shaw C. Y. (2001). Comparison of models for describing measured VOC emissions from wood-based panels under dynamic chamber test condition. *Chemosphere*, 44: 1253-1257.

Zou S. C., Lee S. C., Chan C. Y., Ho K. F., Wang X. M., Chan L. Y. e Zhang Z. X. (2003). Characterization of ambient volatile organic compounds at a landfill site in Guangzhou, South China. *Chemosphere*, 51: 1015-1022.

Zou X., Gurnagul N., Uesaka T. e Bouchard J. (1994). Accelerated aging of papers of pure cellulose: mechanism of cellulose degradation and paper embrittlement. *Polymer Degradation and Stability*, 43(3): 393-402.

Anexo A

**Estudos realizados com recurso ao método baseado nos
tempos de vida dos produtos**

Tabela A.1 - Estudos realizados com recurso ao método baseado nos tempos de vida dos produtos: fronteiras geográficas, categorias de produtos florestais consideradas e respectivos tempos de vida e perfil da decomposição.

Autor	Região	Produto florestal	Tempo de vida máximo		Tempo de vida médio (anos)		Tempo de semi-vida (anos)		Perfil da decomposição
			Uso	Aterro	Uso + aterro	Uso	Aterro	Uso	
Kurz <i>et al.</i> (1992) e Apps <i>et al.</i> (1999)	Canadá	Madeira para construção	> 100 ¹	80 ⁴					Ver notas
		Outra madeira	100 ²	80 ⁴					
		Papel	100 ³	80 ⁴					
Burschel <i>et al.</i> (1993)	Alemanha	Madeira para construção			65				Não é referido
		Mobiliário			15				
		Madeira para embalagem			1				
		Papel			1				
Hoen e Solberg (1994)	Noruega	Madeira para construção	80						Não é referido
		Madeira impregnada	40						
		Mobiliário e interiores	20						
		Painéis de madeira	17						
		Madeira para embalagem	2						
		Papel	1						
Karjalainen <i>et al.</i> (1994), Pussinen <i>et al.</i> (1997) e Karjalainen <i>et al.</i> (1999)	Finlândia	Produtos com tempo de vida longo (50% da madeira serrada e dos contraplacados)		200				65	Logística para produtos em uso e linear para produtos em aterro
		Produtos com tempo de vida médio-longo (50% da madeira serrada e dos contraplacados)		200				30	
		Produtos com tempo de vida médio-curto (86% do papel de pasta química e 66% do papel de pasta mecânica)		200				13	
		Produtos com tempo de vida curto (restante papel)		200				4	
		Produtos produzidos com madeira proveniente de cortes finais						Igual à rotação	
Cannell e Dewar (1995)	Grã-Bretanha	Produtos produzidos com madeira proveniente de desbastes (papel e embalagens)						5	Não é referido

Tabela A.1 (cont.) - Estudos realizados com recurso ao método baseado nos tempos de vida dos produtos: fronteiras geográficas, categorias de produtos florestais consideradas e respectivos tempos de vida e perfil da decomposição.

Autor	Região	Produto florestal	Tempo de vida máximo			Tempo de vida médio (anos)			Tempo de semi-vida (anos)		Perfil da decomposição
			Uso	Aterro	Uso + aterro	Uso	Aterro	Uso	Aterro	Uso	
Ford-Robertson (1996)	Povoamentos de <i>P. radiata</i> na Nova Zelândia	Produtos com tempo de vida longo				80					Não é referido
		Produtos com tempo de vida médio				50					
		Produtos com tempo de vida curto				1					
Gjesdal <i>et al.</i> (1996)	Noruega	20% do papel de impressão e escrita	10								Não é referido
		Cartão de embalagem e 80% do papel de impressão e escrita	1								
		Papel de jornal e papel de uso doméstico e sanitário	0,5								
		Papel total				1,2					
Harmon <i>et al.</i> (1996)	Estados norte-americanos de Oregon e Washington	Produtos com tempo de vida longo (madeira serrada e contraplacados para edifícios)				100		200 (at. san.)			Exponencial de 1ª ordem
								3,3 (lixreira)			
		Produtos com tempo de vida curto (madeira serrada e contraplacados para vedações e embalagens)				20		200 (at. san.)			
								3,3 (lixreira)			
		Papel				1,7		200 (at. san.)			
Nabuurs (1996)	Povoamentos de várias espécies em vários países	Madeira serrada de carvalho e bétula				45					Exponencial de 1ª ordem
		Painéis de partículas				20					
		Madeira serrada de abeto				18					
		Madeira para embalagem				3					
		Papel				2					
Pingoud <i>et al.</i> (1996)	Finlândia	Produtos de madeira sólida						50 ⁵			Não é referido para prod. em uso e exp. de 1ª ordem para prod. em aterro
		20% do papel de impressão e escrita	10								
		Cartão de embalagem e 80% do papel de impressão e escrita	1								
		Papel de jornal e papel de uso doméstico e sanitário	0,5								
		Papel total				1,8		10 ⁵			

Tabela A.1 (cont.) - Estudos realizados com recurso ao método baseado nos tempos de vida dos produtos: fronteiras geográficas, categorias de produtos florestais consideradas e respectivos tempos de vida e perfil da decomposição.

Autor	Região	Produto florestal	Tempo de vida máximo		Tempo de vida médio (anos)		Tempo de semi-vida (anos)		Perfil da decomposição
			Uso	Aterro	Uso + aterro	Uso	Aterro	Uso	
Flugstrud <i>et al.</i> (1998)	Finlândia	Iguals aos usados por Winjum <i>et al.</i> (1998) para a região boreal							
Nabuurs e Sikkema (1998) e Nabuurs e Sikkema (2001)	Suécia	Iguals aos usados por Winjum <i>et al.</i> (1998) para a região boreal							
	Holanda	Iguals aos usados por Winjum <i>et al.</i> (1998) para a região temperada							
	Gabão	Iguals aos usados por Winjum <i>et al.</i> (1998) para a região tropical							
Skog e Nicholson (1998) e Skog e Nicholson (2000)		Madeira em casas unifamiliares (a partir de 1980)	96 (lixei.) ⁶					100	20 (at. sanit.) ⁷
		Madeira em casas unifamiliares (antes de 1980)	96 (lixei.) ⁶					80	20 (at. sanit.) ⁷
		Madeira em casas multifamiliares	96 (lixei.) ⁶					70	20 (at. sanit.) ⁷
		Madeira em edifícios não residenciais	96 (lixei.) ⁶					67	20 (at. sanit.) ⁷
	Estados Unidos da América	Mobiliário e travessas de caminho de ferro	96 (lixei.) ⁶					30	20 (at. sanit.) ⁷
		Madeira em casas móveis	96 (lixei.) ⁶					20	20 (at. sanit.) ⁷
		Outros produtos de madeira	96 (lixei.) ⁶					12	20 (at. sanit.) ⁷
		Embalagens de madeira e papel em folhas soltas	96 (lixei.) ⁶					6	20 (at. sanit.) ⁷
		Restante papel	96 (lixei.) ⁶					1	20 (at. sanit.) ⁷
									Logística para produtos em uso, linear para produtos em lixeira e não é referido para produtos em aterro sanitário

Tabela A.1 (cont.) - Estudos realizados com recurso ao método baseado nos tempos de vida dos produtos: fronteiras geográficas, categorias de produtos florestais consideradas e respectivos tempos de vida e perfil da decomposição.

Autor	Região	Produto florestal	Tempo de vida máximo		Tempo de vida médio (anos)		Tempo de semi-vida (anos)		Perfil da decomposição
			Uso	Aterro	Uso + aterro	Uso	Aterro	Uso	Aterro
HariPriya (2001)	Índia	Produtos com tempo de vida longo (madeira serrada usada na construção e em mobiliário, travessas de caminho de ferro, painéis de partículas e de fibras)		100				30	
		Produtos com tempo de vida curto (madeira usada em carroças, construções rurais, equipamentos desportivos e outros produtos diversos; parte do papel de embalagem e de impressão e escrita)		100				12	Logística para produtos em uso e linear para produtos em aterro
		Produtos com tempo de vida curto (papel de jornal e parte do papel de embalagem e de impressão e escrita)		100				3	
		Produtos com tempo de vida muito curto (madeira para fósforos)		100				1	
Eggers (2002)	27 países da Europa	Produtos com tempo de vida longo (madeira serrada e painéis de madeira usados na construção de edifícios e outras obras de construção)		200				50	
		Produtos com tempo de vida médio-longo (madeira serrada e painéis usados na manutenção de edifícios e de outras obras de construção e em mobiliário; inclui também vedações, janelas, portas e soalhos)		200				16	Logística para produtos em uso e linear para produtos em aterro
		Produtos com tempo de vida médio-curto (papel usado em livros, mapas ou <i>posters</i>)		200				4	
		Produtos com tempo de vida curto (madeira serrada e painéis usados como material de suporte estrutural na construção (andaimes, etc.) e em embalagens; papel de jornal e usos sanitários)		200				1	
Hashimoto <i>et al.</i> (2002)	Global	Iguais aos usados por Winjum <i>et al.</i> (1998)							

Tabela A.1 (cont.) - Estudos realizados com recurso ao método baseado nos tempos de vida dos produtos: fronteiras geográficas, categorias de produtos florestais consideradas e respectivos tempos de vida e perfil da decomposição.

Autor	Região	Produto florestal	Tempo de vida máximo			Tempo de vida médio (anos)			Tempo de semi-vida (anos)			Perfil da decomposição
			Uso + aterro			Uso		Aterro	Uso		Aterro	
			Uso	Aterro								
Hashimoto e Moriguchi (2004)	Japão	Madeira para edifícios e infra-estruturas				32	69 ⁸					Exponencial de 1ª ordem
		Madeira para mobiliário				7	69 ⁸					
		Madeira para embalagem e outros produtos de madeira				3,5	69 ⁸					
		Produtos de papel				0,9	69 ⁸					
Skog <i>et al.</i> (2004)	Estados Unidos da América	Produtos de madeira sólida				35	14 ⁹					Exponencial de 1ª ordem
		Produtos de papel				1	14 ⁹					

¹ 5% da madeira é perdida no primeiro ano, 50% é perdida ao fim de 60 anos e apenas 5% permanece em utilização ao fim de 100 anos.

² 40% da madeira é perdida no primeiro ano, aos 50 anos apenas 5% permanece em utilização e ao fim de 100 anos praticamente não há madeira em utilização.

³ 50% do papel é perdido no primeiro ano, aos 5 anos apenas 15% permanece em utilização, ao fim de 10 anos anos apenas 10% permanece em utilização e ao fim de 100 anos praticamente não há papel em utilização.

⁴ Tempo de vida da fracção degradável; 20% do carbono não é degradável.

⁵ Tempo de vida da fracção degradável; 60% do carbono não é degradável.

⁶ 65% dos produtos em lixeira são queimados; este tempo de vida diz respeito aos restantes.

⁷ Tempo de vida da fracção degradável (metade do CO₂ é emitido em 3 anos e metade do CH₄ é emitido em 20 anos); 97% do carbono nos produtos de madeira sólida, 84% do carbono no papel de jornal, 82% do carbono no papel revestido, 68% do carbono no cartão de embalagem e 62% do carbono no papel de escritório não é degradável.

⁸ Tempo de vida da fracção degradável; 97% do carbono nos produtos de madeira sólida e 74% do carbono no papel não é degradável.

⁹ Tempo de vida da fracção degradável; 97% do carbono nos produtos de madeira sólida e 72% do carbono no papel não é degradável.

Anexo B

**Tempos de trabalho associados às operações mecanizadas
realizadas na floresta de eucalipto e pinheiro bravo**

Tabela B.1 - Tempos de trabalho associados aos corta-matos.

Fonte	Declive	Tipo de solo	Tipo de vegetação	Tipo de alfaia	Potência da máquina (cv)	Tempos de trabalho (h ha ⁻¹)
CAOF (2003b)	< 5%	Presença de menos de 10% de elementos grosseiros de diâmetro superior a 100 mm	Vegetação herbácea e/ou arbustiva até 0,5 m de altura	Facas ou correntes	90	3,0
			Vegetação herbácea e/ou arbustiva até 1 m de altura	Martelos	90	4,0
		Presença de mais de 50% de elementos grosseiros de diâmetro superior a 100 mm	Vegetação arbustiva com altura superior a 1,5 m	Facas ou correntes	90	5,0
			Vegetação arbustiva com altura superior a 2 m	Martelos	90	7,0
	> 25%					
FPFP (2001a) e FPFP (2001b)					70 - 80	2,0 - 3,0
Louro <i>et al.</i> (2000)						2,0 - 7,0

Tabela B.2 - Tempos de trabalho associados à gradagem.

Fonte	Declive	Tipo de solo	Tipo de vegetação	Objectivo	Potência da máquina (cv)	Tempos de trabalho (h ha ⁻¹)	
CAOF (2003b)	< 5%	Presença de menos de 10% de elementos grosseiros de diâmetro superior a 100 mm	Vegetação herbácea e/ou arbustiva até 1 m de altura	Limpeza de vegetação	140	2,0	
			Vegetação herbácea com altura inferior a 0,3 m	Limpeza de vegetação pouco desenvolvida	90	1,5	
		Solos com textura argilo-arenosa		Destorroamento	140	1,0	
		> 25%	Presença de mais de 50% de elementos grosseiros de diâmetro superior a 100 mm	Vegetação arbustiva com altura superior a 2 m	Limpeza de mato	140	5,5
	Vegetação herbácea com altura superior a 0,5 m			Limpeza de vegetação pouco desenvolvida	90	2,5	
	Solos com textura argilosa		Destorroamento	140	1,5		
	FPFP (2001a) e FPFP (2001b)					90 - 140	1,5 - 3,0
	Louro <i>et al.</i> (2000)					100 - 180	2,0 - 4,0
Emporsil e Soporcel (1995)	< 20%	Solos medianamente a muito pedregosos		120 - 140	4,0		
		Solos pouco ou nada pedregosos, com textura fina		120 - 140	3,5		
		Solos pouco ou nada pedregosos, com textura média a grosseira		120 - 140	3,0		
	20-35%	Solos medianamente a muito pedregosos, derivados de xisto ou granito		120 - 140	3,5		
		Solos pouco ou nada pedregosos		120 - 140	3,5		

Tabela B.3 - Tempos de trabalho associados à eliminação de cepos.

Fonte	Tipo de equipamento	Declive	Densidade de cepos (número ha ⁻¹)	Potência da máquina (cv)	Tempos de trabalho (h ha ⁻¹)
CAOF (2003b)	Escavadora hidráulica de rasto contínuo com enxó	< 5%	800	150	6
		> 25%	1200	150	10

Tabela B.4 - Tempos de trabalho associados à abertura de covas.

Fonte	Quantidade de covas (número/ha)	Declive	Tipo de solo	Potência da máquina (cv)	Tempos de trabalho (h ha ⁻¹)
CAOF (2003b)	1100	< 5%	Presença de menos de 10% de elementos grosseiros de diâmetro superior a 100 mm, solos com textura franca	80	2,5
		> 25%	Presença de mais de 50% de elementos grosseiros de diâmetro superior a 100 mm, solos com textura argilosa	80	4,0

Tabela B.5 - Tempos de trabalho associados à ripagem.

Fonte	Declive	Tipo de solo	Potência da máquina (cv)	Nº de dentes de <i>ripper</i>	Afastamento entre linhas (m)	Tempos de trabalho (h ha ⁻¹)
CAOF (2003b)	< 5%	Presença de menos de 10% de elementos grosseiros de diâmetro superior a 100 mm,	160	1	3	2,0
		solos com textura franca, substrato rochoso facilmente desagregável e horizontes de compactação reduzida	160	2	3	2,5
			160	3	3	3
	> 25%	Presença de mais de 50% de elementos grosseiros de diâmetro superior a 100 mm,	160	1	3	3,0
		solos com textura argilosa, substrato rochoso de difícil desagregação e horizontes de compactação elevada	160	2	3	3,5
			160	3	3	5,0
FPFP (2001a) e FPFP (2001b)			110 - 180			2,5 - 6,5
Louro <i>et al.</i> (2000) adaptado de Barros e Salinas (1981)		Litossolos derivados de xisto	140	1	2	4,0 - 5,0
					4	3,0 - 3,5
				2	2	3,0 - 3,5
		Solos litólicos derivados de granitos	140	3	2	5,5 - 6,5
				1	2	3,5 - 4,5
					4	2,5 - 3,0
Emporsil e Soporcel (1995)	< 20%	Solos medianamente a muito pedregosos	200 - 300			3,5 - 5,0
		Solos pouco ou nada pedregosos, com textura fina	140 - 160			4,0
	20 - 35%	Solos medianamente a muito pedregosos, derivados de xisto ou granito	200-300			5,5
		Solos pouco ou nada pedregosos	160			4,0
	> 35%		140 - 160			3,5

Tabela B.6 - Tempos de trabalho associados à subsolagem.

Fonte	Declive	Tipo de solo	Potência da máquina (cv)	Nº de dentes de <i>ripper</i>	Afastamento entre linhas (m)	Tempos de trabalho (h ha ⁻¹)
CAOF (2003b)	< 5%	Presença de menos de 10% de elementos grosseiros de diâmetro superior a 100 mm, solos com textura franca, substrato rochoso	160	1 com aiveca	3	2,0
		facilmente desagregável e horizontes de compactidade reduzida	160	3 (os 2 exteriores com aiveca)	3	3,0
	> 25%	Presença de mais de 50% de elementos grosseiros de diâmetro superior a 100 mm, solos com textura argilosa, substrato rochoso de difícil desagregação e horizontes de compactidade elevada	160	1 com aiveca	3	3,0
			160	3 (os 2 exteriores com aiveca)	3	4,5
FPFP (2001a) e FPFP (2001b)			110 - 180			2,5 - 3,0
Louro <i>et al.</i> (2000)						1,5 - 3,0
Emporsil e Soporcel (1995)	< 20%	Solos medianamente a muito pedregosos	140 - 160			3,5
		Solos pouco ou nada pedregosos, com textura fina	140 - 160			3,0
		Solos pouco ou nada pedregosos, com textura média a grosseira	140 - 160			3,0

Tabela B.7 - Tempos de trabalho associados à lavoura.

Fonte	Declive	Tipo de solo	Potência da máquina (cv)	Tempos de trabalho (h ha⁻¹)
CAOF (2003b)	< 5%	Presença de menos de 10% de elementos grosseiros de diâmetro superior a 100 mm, solos com textura franca	80	3,0
	> 25%	Presença de mais de 50% de elementos grosseiros de diâmetro superior a 100 mm, solos com textura argilosa	100	5,0
FPFP (2001a) e FPFP (2001b)			70	2,5 - 3,0
Louro <i>et al.</i> (2000)			70	2,5 - 5,0

Tabela B.8 - Tempos de trabalho associados à armação do terreno em vala e cômoro.

Fonte	Declive	Tipo de solo	Potência da máquina (cv)	Profundidade (cm)	Afastamento entre linhas (m)	Tempos de trabalho (h ha ⁻¹)
CAOF (2003b)	< 5%	Presença de menos de 10% de elementos grosseiros de diâmetro superior a 100 mm, solos com textura franca	80	30	3	1,0
			100	40	3	1,0
			120	50	3	1,0
			120	60	3	1,2
	> 25%	Presença de mais de 10% de elementos grosseiros de diâmetro superior a 100 mm, solos com textura argilosa	80	30	3	2,5
			100	40	3	3,0
			120	50	3	3,7
			120	60	3	4,8
FPFP (2001a) e FPFP (2001b)			70 - 90		3	2,0 - 4,5
Louro <i>et al.</i> (2000)			70 - 110		3	2,0 - 3,5
			70 - 110		4	1,5 - 2,6
			70 - 110		6	1,0 - 1,8
			70 - 110		12	0,5 - 0,9

Tabela B.9 - Tempos de trabalho associados à construção de terraços.

Fonte	Tipo de solo	Declive	Potência da máquina (cv)	Largura do terraço (m)	Altura do terraço (m)	Tempos de trabalho (h ha ⁻¹)
Louro <i>et al.</i> (2000) adaptado de Barros e Salinas (1981)	Com mato e com pedra	40%	140	4,5	1,7	16,2
		50%	140	5,2	2,3	15,5
		60%	140	5,6	2,9	16,5
	Com mato e sem pedra	40%	140	4,5	1,6	13,0
		50%	140	4,8	2,1	14,3
		60%	140	4,2	2,7	17,0
Emporsil e Soporcel (1995)		> 35%	140 - 160			21

Tabela B.10 - Tempos de trabalho associados à abertura e beneficiação de caminhos.

Fonte	Tipo de intervenção	Declive	Tipo de solo	Estado do caminho	Potência da máquina (cv)	Tempos de trabalho (h ha ⁻¹)
Adaptado de CAOF (2003a)	Abertura de caminhos com valeta	< 5%	Substrato rochoso facilmente desagregável		160	0,5 ⁽¹⁾
		> 25%	Substrato rochoso dificilmente desagregável		160	2,8 ⁽²⁾
	Beneficiação de caminhos à lâmina			Caminho pouco degradado, sem alargamento	160	0,2 - 0,4 ⁽³⁾
				Caminho muito degradado, com alargamento	160	0,6 - 1,0 ⁽⁴⁾
Emporsil e Soporcel (1995)	Abertura de caminhos	< 20%	Solos medianamente a muito pedregosos		140 - 160	0,8
			Solos pouco ou nada pedregosos, com textura fina		140 - 160	0,7
			Solos pouco ou nada pedregosos, com textura média a grosseira		140 - 160	0,7
		20 - 35%	Solos medianamente a muito pedregosos, derivados de xisto ou granito		140 - 160	1,2
			Solos pouco ou nada pedregosos		140 - 160	1,0
		> 35%			140 - 160	1,6

(1) O valor publicado por CAOF (2003a) é de 20 h km⁻¹ e foi considerada uma densidade de caminhos florestais típica de 25 m ha⁻¹ para áreas planas (Louro *et al.*, 2000).

(2) O valor publicado por CAOF (2003a) é de 70 h km⁻¹ e foi considerada uma densidade de caminhos florestais típica de 40 m ha⁻¹ para áreas declivosas (Louro *et al.*, 2000).

(3) O valor publicado por CAOF (2003a) é de 10 h km⁻¹ e foram consideradas as densidades de caminhos florestais típicas de 25 e 40 m ha⁻¹ para áreas planas e declivosas, respectivamente (Louro *et al.*, 2000).

(4) O valor publicado por CAOF (2003a) é de 25 h km⁻¹ e foram consideradas as densidades de caminhos florestais típicas de 25 e 40 m ha⁻¹ para áreas planas e declivosas, respectivamente (Louro *et al.*, 2000).

Tabela B.11 - Tempos de trabalho associados à abertura e beneficiação de aceiros.

Fonte	Tipo de intervenção	Declive	Tipo de solo	Tipo de vegetação	Potência da máquina (cv)	Tempos de trabalho (h ha ⁻¹)
Adaptado de CAOF (2003a)	Abertura de aceiros com grade de discos	< 5%	Presença de menos de 10% de elementos grosseiros de diâmetro superior a 100 mm	Vegetação herbácea e/ou arbustiva até 1 m de altura	140	0,05 ⁽¹⁾
		> 25%	Presença de mais de 50% de elementos grosseiros de diâmetro superior a 100 mm	Vegetação arbustiva com altura superior a 2 m	140	0,14 ⁽²⁾
	Beneficiação de aceiros com grade de discos			Vegetação herbácea e/ou arbustiva com altura inferior a 0,3 m	140	0,05 ⁽³⁾
				Vegetação herbácea e/ou arbustiva com altura superior a 0,5 m	140	0,07 ⁽⁴⁾
Emporsil e Soporcel (1995)	Abertura de aceiros	< 20%	Solos medianamente a muito pedregosos		140 - 160	0,2
			Solos pouco ou nada pedregosos, com textura fina		140 - 160	0,2
			Solos pouco ou nada pedregosos, com textura média a grosseira		140 - 160	0,2
		20 - 35%	Solos medianamente a muito pedregosos, derivados de xisto ou granito		140 - 160	0,3
			Solos pouco ou nada pedregosos		140 - 160	0,3
		> 35%			140 - 160	0,4

(1) O valor publicado por CAOF (2003a) é de 1,5 h km⁻¹ e foi considerada uma densidade de aceiros típica de 35 m ha⁻¹ (Louro *et al.*, 2000).

(2) O valor publicado por CAOF (2003a) é de 4 h km⁻¹ e foi considerada uma densidade de aceiros típica de 35 m ha⁻¹ (Louro *et al.*, 2000).

(3) O valor publicado por CAOF (2003a) é de 1,5 h km⁻¹ e foi considerada uma densidade de aceiros típica de 35 m ha⁻¹ (Louro *et al.*, 2000).

(4) O valor publicado por CAOF (2003a) é de 2 h km⁻¹ e foi considerada uma densidade de aceiros típica de 35 m ha⁻¹ (Louro *et al.*, 2000).

Anexo C

Modelos de gestão dos povoamentos de eucalipto e de pinheiro bravo considerados na análise de sensibilidade

Tabela C.1 - Modelo de gestão dos povoamentos de pinheiro bravo instalados por regeneração natural.

Idade (anos)	Objectivo	Tipo de operação
1 - 5	Controlo da vegetação espontânea	2 vezes gradagem
	Limpeza de povoamento	
5 - 10	Desramação baixa	Manual
	Controlo da vegetação espontânea e incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
	Limpeza de povoamento	Motosserra
	1º desbaste e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
10 - 20	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua
	Desramação alta	Manual
	Controlo da vegetação espontânea e incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
	2º desbaste e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
20 - 30	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua
	Incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
	3º desbaste e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
30 - 40	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua
	Incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
	Corte final e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
45	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua

Tabela C.2 - Frequência de execução das operações mecanizadas e motomanuais das fases de condução de povoamentos e de estabelecimento da rede viária e divisional ao longo de uma revolução, em povoamentos de pinheiro bravo instalados por regeneração natural.

Fase	Operação	Frequência de execução (número de vezes por revolução)
Condução dos povoamentos florestais	Gradagem para controlo da vegetação e mobilização do solo	4
	Gradagem para mobilização do solo	2
	Limpeza do povoamento com motosserra	1
Rede viária e divisional	Beneficiação de caminhos	9
	Beneficiação de aceiros	9

Tabela C.3 - Modelo de gestão dos povoamentos de eucalipto usando corta-matos no controlo da vegetação espontânea.

Idade (anos)	Objectivo	Tipo de operação
0	Arranque de cepos	Escavadora com enxó
	Controlo da vegetação espontânea	Corta-matos
	Mobilização do solo	Ripagem + Subsolagem
1	Plantação	Manual
	Adubação à instalação	Manual
	Retanchar	Manual
	Controlo da vegetação espontânea	Gradagem
	Mobilização do solo	
2	Controlo da vegetação espontânea	Corta-matos
3	Controlo da vegetação espontânea	Corta-matos
	Adubação de manutenção	Manual
5 - 7	Adubação de manutenção	Manual
	Mobilização do solo e incorporação do adubo	Gradagem
10	Abate e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua
12 - 14	Seleção de varas	Motosserra
	Controlo da vegetação espontânea e incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
15 - 17	Adubação de manutenção	Manual
	Mobilização do solo e incorporação do adubo	Gradagem
20	Abate e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua
22 - 24	Seleção de varas	Motosserra
	Controlo da vegetação espontânea e incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
25 - 27	Adubação de manutenção	Manual
	Mobilização do solo	Gradagem
30	Abate e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua

Tabela C.4 - Frequência de execução das operações mecanizadas e motomanuais das fases de preparação do terreno, condução dos povoamentos e de estabelecimento da rede viária e divisional ao longo de uma revolução, em povoamentos de eucalipto usando corta-matos no controlo da vegetação espontânea.

Fase	Operação	Frequência de execução (número de vezes por revolução)
Preparação do terreno	Arranque de cepos	1
	Corta-matos	1
	Ripagem	1
	Subsolagem	1
Condução dos povoamentos florestais	Corta-matos	2
	Gradagem para controlo da vegetação e mobilização do solo	3
	Gradagem para mobilização do solo	3
	Seleccção de varas	2
Rede viária e divisional	Beneficiação de caminhos	6
	Beneficiação de aceiros	6

Tabela C.5 - Modelo de gestão dos povoamentos de pinheiro bravo usando corta-matos no controlo da vegetação espontânea.

Idade (anos)	Objectivo	Tipo de operação
0	Controlo da vegetação espontânea	Corta-matos
	Mobilização do solo	Ripagem + Subsolagem
1	Plantação	Manual
	Adubação à instalação	Manual
	Retanchar	Manual
1 - 5	Controlo da vegetação espontânea	2 vezes corta-matos
	Desramação baixa	Manual
5 - 10	Controlo da vegetação espontânea e incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
	1º desbaste e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
10 - 20	Carregamento	Grua
	Desramação alta	Manual
	Controlo da vegetação espontânea e incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
20 - 30	2º desbaste e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua
	Incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
30 - 40	3º desbaste e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua
	Incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
45	Corte final e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua

Tabela C.6 - Frequência de execução das operações mecanizadas e motomanuais das fases de preparação do terreno, condução dos povoamentos e de estabelecimento da rede viária e divisional ao longo de uma revolução, em povoamentos de pinheiro bravo usando corta-matos no controlo da vegetação espontânea.

Fase	Operação	Frequência de execução (número de vezes por revolução)
Preparação do terreno	Corta-matos	1
	Ripagem	1
	Subsolagem	1
Condução dos povoamentos florestais	Corta-matos	2
	Gradagem para controlo da vegetação e mobilização do solo	2
	Gradagem para mobilização do solo	2
Rede viária e divisional	Beneficiação de caminhos	9
	Beneficiação de aceiros	9

Tabela C.7 - Modelo de gestão dos povoamentos de eucalipto usando vala e cômoro na mobilização do solo.

Idade (anos)	Objectivo	Tipo de operação
0	Arranque de cepos	Escavadora com enxó
	Controlo da vegetação espontânea	Gradagem
	Mobilização do solo	Vala e cômoro
1	Plantação	Manual
	Adubação à instalação	Juntamente com a subsolagem
	Retanchar	Manual
	Controlo da vegetação espontânea	Gradagem
	Mobilização do solo	
2	Controlo da vegetação espontânea	Gradagem
3	Controlo da vegetação espontânea	Gradagem
	Adubação de manutenção	Manual
5 - 7	Adubação de manutenção	Manual
	Mobilização do solo e incorporação do adubo	Gradagem
10	Abate e processamento da madeira	Motoserra (descasque manual)
	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua
12 - 14	Seleccção de varas	Motoserra
	Controlo da vegetação espontânea e incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
15 - 17	Adubação de manutenção	Manual
	Mobilização do solo e incorporação do adubo	Gradagem
20	Abate e processamento da madeira	Motoserra (descasque manual)
	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua
22 - 24	Seleccção de varas	Motoserra
	Controlo da vegetação espontânea e incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
25 - 27	Adubação de manutenção	Manual
	Mobilização do solo	Gradagem
30	Abate e processamento da madeira	Motoserra (descasque manual)
	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua

Tabela C.8 - Frequência de execução das operações mecanizadas e motomanuais das fases de preparação do terreno, condução dos povoamentos e de estabelecimento da rede viária e divisional ao longo de uma revolução, em povoamentos de eucalipto usando vala e câmore na mobilização do solo.

Fase	Operação	Frequência de execução (número de vezes por revolução)
Preparação do terreno	Arranque de cepos	1
	Gradagem	1
	Vala e câmore	1
Condução dos povoamentos florestais	Gradagem para controlo da vegetação e mobilização do solo	5
	Gradagem para mobilização do solo	3
	Seleção de varas	2
Rede viária e divisional	Beneficiação de caminhos	6
	Beneficiação de aceiros	6

Tabela C.9 - Modelo de gestão dos povoamentos de pinheiro bravo usando vala e cômoro na mobilização do solo.

Idade (anos)	Objectivo	Tipo de operação
0	Controlo da vegetação espontânea	Gradagem
	Mobilização do solo	Vala e cômoro
1	Plantação	Manual
	Adubação à instalação	Juntamente com a subsolagem
	Retanchar	Manual
1 - 5	Controlo da vegetação espontânea	2 vezes gradagem
	Desramação baixa	Manual
5 - 10	Controlo da vegetação espontânea e incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
	1º desbaste e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
10 - 20	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua
	Desramação alta	Manual
	Controlo da vegetação espontânea e incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
20 - 30	2º desbaste e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua
	Incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
30 - 40	3º desbaste e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua
	Incorporação de material lenhoso no solo	Gradagem
45	Corte final e processamento da madeira	Motosserra (descasque manual)
	Extracção e rechega	Tractor agrícola adaptado
	Carregamento	Grua

Tabela C.10 - Frequência de execução das operações mecanizadas e motomanuais das fases de preparação do terreno, condução dos povoamentos e de estabelecimento da rede viária e divisional ao longo de uma revolução, em povoamentos de pinheiro bravo usando vala e câmore na mobilização do solo.

Fase	Operação	Frequência de execução (número de vezes por revolução)
Preparação do terreno	Gradagem	1
	Vala e câmore	1
Condução dos povoamentos florestais	Gradagem para controlo da vegetação e mobilização do solo	4
	Gradagem para mobilização do solo	2
Rede viária e divisional	Beneficiação de caminhos	6
	Beneficiação de aceiros	6

Anexo D

Classificação dos produtos florestais segundo a FAO

A classificação aqui apresentada foi adaptada do *Yearbook of Forest Products* da FAO (FAO, 1998) que, por seu lado, é baseada numa classificação dos produtos florestais mais vasta e detalhada (FAO, 1982). A partir do ano 1995, com a adopção pela FAO, UNECE, *Eurostat* e *International Tropical Timber Organization* (ITTO) do *Joint Questionnaire* (JQ) (questionário comum destinado à recolha de dados estatísticos de produtos florestais) foram introduzidas algumas alterações a esta classificação que estão devidamente assinaladas.

1. Madeira em bruto:

Toda a madeira cortada, ou de outro modo removida, de florestas e de outras áreas, incluindo madeira em toros, partida, simplesmente esquadriada ou em outra forma (por exemplo, ramos, raízes, cepos). Inclui ainda madeira simplesmente desbastada ou aguçada. A madeira em bruto é dividida em madeira para queima e madeira industrial, sendo reportada em volume sólido sem casca.

1.1. Madeira em bruto para queima:

Madeira em bruto usada como combustível para cozinhar, aquecimento ou produção de energia, constituída por madeira removida dos troncos, ramos ou de outras partes das árvores, e incluindo a usada na produção de carvão.

1.2. Madeira industrial em bruto:

Toda a madeira em bruto que não é usada para queima, sendo dividida em madeira para serrar e folhear, madeira para trituração e outra madeira industrial.

1.2.1. Madeira para serrar e folhear:

Madeira em bruto destinada à produção de madeira serrada e folhas de madeira.

1.2.2. Madeira para triturar:

Madeira em bruto destinada à produção de pasta, painéis de partículas e painéis de fibras.

1.2.3. Outra madeira industrial:

Madeira em bruto usada em postes, vedações, esteios de minas, estacas, etc.

2. Aparas e partículas:

Madeira que foi deliberadamente reduzida a pequenos bocados durante os processos de produção de produtos florestais, tendo como destino a produção de pasta, painéis de partículas e painéis de fibras, o uso como combustível, etc. As aparas e partículas são reportadas em volume sólido sem casca.

3. Resíduos de madeira:

Resíduos de madeira originados durante os processos de produção de produtos florestais que não foram reduzidos a aparas e partículas. Incluem rejeitos das serrações, tábuas, rejeitos da produção de folhas de madeira, serrim, resíduos de carpintaria, etc. Os resíduos de madeira são reportados em volume sólido sem casca.

4. Madeira serrada¹:

Madeira serrada longitudinalmente ou cortada e que raramente excede os 5 mm de espessura. Inclui pranchas, vigas, barrotes, quadros, ripas, travessas de caminho de ferro, etc. nas seguintes formas: não aplainadas, aplainadas, unidas por malhetes, etc. Inclui ainda madeira perfilada (com espigas, ranhuras, filetes, entalhes, chanfradas, com juntas em V, com cercaduras, boleadas ou semelhantes) e exclui soalho de madeira. A madeira serrada é reportada em volume sólido.

5. Painéis de madeira:

Incluem folhas de madeira, contraplacados, painéis de partículas e painéis de fibras, sendo reportados em volume sólido.

5.1. Folhas de madeira:

Folhas finas de madeira de espessura uniforme, desenroladas, cortadas ou serradas, usadas no fabrico de contraplacados, materiais de construção laminados, mobiliário, etc. As quantidades de folhas de madeira produzidas excluem as usadas na produção de contraplacados no próprio país.

5.2. Contraplacados:

Painéis formados pela junção de várias folhas de madeira coladas perpendicularmente entre si. As folhas são geralmente colocadas simetricamente em torno de uma camada central, feita de folha de madeira ou de outro material.

5.3. Painéis de partículas:

Painéis produzidos a partir de pequenos bocados de madeira ou de outros materiais lenhosos (aparas, fragmentos, tiras, etc.) aglomerados com aglutinantes orgânicos, sob a acção de um ou mais dos seguintes agentes: calor, pressão, humidade, catalisadores, etc. Exclui lâ de madeira e outros painéis de madeira aglomerados com aglutinantes inorgânicos.

¹ Na definição do JQ as travessas de caminho de ferro e a madeira perfilada são excluídos, bem como a madeira produzida por serragem de peças previamente serradas.

5.4. Painéis de fibras:

Painéis produzidos a partir de fibras de madeira ou de outros materiais lenhosos, em que a ligação primária advém das propriedades de adesão inerentes às fibras separadas (embora possam também ser usados materiais aglutinantes e/ou aditivos no seu processo de fabrico). Estes painéis podem ser prensados ou moldados, e subdividem-se em painéis comprimidos (duros e MDF) e isolantes.

5.4.1. Painéis de fibras duros:

Painéis de fibras com densidade superior a $0,8 \text{ g cm}^{-3}$.

5.4.2. Painéis MDF:

Painéis de fibras com densidade superior a $0,5 \text{ g cm}^{-3}$ mas que não excede $0,8 \text{ g cm}^{-3}$.

5.4.3. Painéis de fibras isolantes:

Painéis de fibras com densidade que não excede $0,5 \text{ g cm}^{-3}$.

6. Pasta de madeira:

Material fibroso produzido a partir de madeira para trituração, aparas, partículas ou resíduos de madeira, através de processos mecânicos e/ou químicos, destinado ao fabrico de papel, cartão e outros produtos celulósicos. É reportada em massa seca ao ar (com 10% de humidade).

7. Outra pasta:

Pasta produzida a partir de papel recuperado ou de materiais vegetais fibrosos que não madeira, sendo usada no fabrico de papel, cartão e painéis de fibras. É reportada em massa seca ao ar (com 10% de humidade).

7.1. Pasta de outras fibras que não madeira:

Pasta produzida a partir de materiais vegetais fibrosos que não madeira (palha, bambu, esparto, algodão, linho, trapos, etc.) e usada no fabrico de papel, cartão e painéis de fibras.

7.2. Pasta de fibra recuperada:

Pasta produzida a partir de papel recuperado e usada no fabrico de papel, cartão e painéis de fibras.

8. Papel recuperado:

Desperdícios e aparas de papel ou cartão recolhidos para reutilização como matéria-prima no fabrico de papel e cartão. Inclui papel e cartão usado, bem como rejeitos gerados no processo de fabrico de papel e cartão, sendo reportado em massa.

9. Papel e cartão²:

Inclui papel de jornal, papel de impressão e escrita e outro papel e cartão, sendo reportado em massa.

9.1. Papel de jornal³:

Papel não revestido, utilizado principalmente para a impressão de jornais, contendo pelo menos 60% (percentagem do teor de fibra) de pasta mecânica de madeira e pesando entre 40 e 60 g m⁻².

9.2. Papel de impressão e escrita⁴:

Papel adequado para impressão, escrita e outros fins gráficos, excluindo o papel de jornal, sendo produzido a partir de vários tipos de pastas e possuindo diversos tipos de acabamentos. Inclui papel de escritório (de cópia, de máquinas de calcular, de duplicação, para etiquetas, facturas, formulários, etc.), papel usado em cadernos, livros e revistas, papel para fabricação de papel de parede, papel para revestimento de caixas, papel para notas, papel bíblia, etc.

9.3. Outro papel e cartão⁵:

Inclui papel de uso doméstico e sanitário (papel higiênico, rolos de cozinha, guardanapos, *tissues* faciais, etc.), papel e cartão de embalagem (papel e cartão usado no fabrico de cartão canelado (inclui *kraftliner*, *testliner*, *fluting* semi-químico e *wellenstoff*) e cartões e cartolinas usados no fabrico de caixas, papel de saco, papéis à prova de gorduras, etc.) e outros papéis e cartões (papéis encerados, asfaltados, à prova de água, impregnados, de filtro, mata-borrão, usados como isolantes, para cigarros, para chá, e para outros usos industriais e especiais).

² A definição do JQ refere que o papel e cartão é produzido na forma de rolos de largura superior a 15 cm (podendo atingir 36 cm) ou em folhas rectangulares em que um dos lados apresenta mais de 36 cm e o outro mais de 15 cm, quando não dobradas, e que exclui produtos manufacturados como caixas, livros, revistas, etc.. Além disso, o papel e cartão é dividido em papel gráfico (que inclui papel de jornal, papel não revestido de pasta mecânica, papel não revestido de pasta química e papel revestido), papel de uso doméstico e sanitário, papel e cartão de embalagem e outro papel e cartão.

³ A definição do JQ não impõe uma percentagem mínima de pasta mecânica, referindo apenas que é fabricado principalmente com pasta mecânica e/ou papel recuperado, com ou sem uma pequena quantidade de carga. Além disso, refere que o peso do papel varia entre 40 e 52 g m⁻², podendo chegar a 65 g m⁻².

⁴ O JQ desagrega o papel de impressão e escrita em papel não revestido de pasta mecânica, papel não revestido de pasta química e papel revestido. Segundo a definição do JQ, o papel para fabricação de papel de parede é excluído. Relativamente ao papel de duplicação, o JQ inclui o papel químico e auto-copiativo em rolos ou folhas e exclui os restantes papéis para cópia ou duplicação.

⁵ O JQ deixa claro que o papel e cartão não revestido e obtido por colagem de folhas sobrepostas, o papel e cartão revestido não branqueado uniformemente em toda a sua massa e o papel e cartão coberto ou revestido com plásticos (excluindo adesivos) são excluídos. O papel para fabricação de papel de parede e os papéis de duplicação não incluídos no papel de impressão e escrita são incluídos nesta categoria.

Anexo E

Obtenção da equação de cálculo da remoção de carbono associada aos produtos florestais dada pela *atmospheric-flow approach* no método de Winjum *et al.* (1998)

Neste anexo apresenta-se a dedução da definição de remoção de carbono associada aos produtos florestais calculada de acordo com a *atmospheric-flow approach*, segundo a perspectiva da variação dos *stocks*, para o caso particular do método de Winjum *et al.* (1998).

A remoção de carbono associada aos produtos florestais calculada de acordo com a *atmospheric-flow approach*, segundo a perspectiva dos fluxos, é dada pela Equação E.1 (ver Tabela 6.2).

$$R_{AFA_t} = PM_t - ET_t \quad \text{Equação E.1}$$

R_{AFA_t} = remoção de carbono dada pela *atmospheric-flow approach*, no ano t (Gg C ano⁻¹);

PM_t = carbono associado à produção de madeira em bruto total, no ano t (Gg C ano⁻¹);

ET_t = emissões totais de carbono resultantes da decomposição ou queima dos materiais produzidos a partir de madeira consumidos, no ano t (Gg C ano⁻¹).

A Equação E.1 é equivalente à Equação E.9 aplicando as seguintes definições dadas por Winjum *et al.* (1998):

$$PM_t = PMI_t + PMQ_t \quad \text{Equação E.2}$$

PMI_t = carbono associado à produção de madeira industrial em bruto, no ano t (Gg C ano⁻¹);

PMQ_t = carbono associado à produção de madeira em bruto para queima, no ano t (Gg C ano⁻¹).

$$ET_t = CMQ_t + R_t + \sum_i CPC_{ti} + \sum_i ECPL_{ti} \quad \text{Equação E.3}$$

CMQ_t = carbono associado ao consumo de madeira em bruto para queima, no ano t (Gg C ano⁻¹);

R_t = carbono associado aos resíduos produzidos no ano t, gerados no processamento da madeira industrial em bruto consumida (Gg C ano⁻¹);

CPC_{ti} = carbono associado ao consumo do produto i com tempo de vida curto, no ano t (Gg C ano⁻¹);

$ECPL_{ti}$ = emissões de carbono que ocorrem no ano t, resultantes da decomposição ou queima do produto i com tempo de vida longo consumido em anos anteriores (Gg C ano⁻¹).

$$CMQ_t = PMQ_t + IMQ_t - EMQ_t \quad \text{Equação E.4}$$

IMQ_t = carbono associado à importação de madeira em bruto para queima, no ano t (Gg C ano⁻¹);

EMQ_t = carbono associado à exportação de madeira em bruto para queima, no ano t (Gg C ano⁻¹).

$$R_t = CMI_t - \sum_i PP_{ti} \quad \text{Equação E.5}$$

CMI_t = carbono associado ao consumo de madeira industrial em bruto, no ano t (Gg C ano⁻¹);

PP_{ti} = carbono associado à produção do produto i, no ano t (Gg C ano⁻¹).

$$CPC_{ti} = PPC_{ti} + IPC_{ti} - EPC_{ti} \quad \text{Equação E.6}$$

PPC_{ti} = carbono associado à produção do produto i com tempo de vida curto, no ano t (Gg C ano⁻¹);

IPC_{ti} = carbono associado à importação do produto i com tempo de vida curto, no ano t (Gg C ano⁻¹);

EPC_{ti} = carbono associado à exportação do produto i com tempo de vida curto, no ano t (Gg C ano⁻¹).

$$CMI_t = PMI_t + IMI_t - EMI_t \quad \text{Equação E.7}$$

IMI_t = carbono associado à importação de madeira industrial em bruto, no ano t (Gg C ano⁻¹);

EMI_t = carbono associado à exportação de madeira industrial em bruto, no ano t (Gg C ano⁻¹).

$$PP_{ti} = PPC_{ti} + PPL_{ti} \quad \text{Equação E.8}$$

PPL_{ti} = carbono associado à produção do produto i com tempo de vida longo, no ano t (Gg C ano⁻¹).



$$R_{AFA_t} = EMQ_t - IMQ_t + EMI_t - IMI_t + \sum_i EPC_{ti} - \sum_i IPC_{ti} + \sum_i PPL_{ti} - \sum_i ECPL_{ti} \quad \text{Equação E.9}$$

A Equação E.9 é equivalente à Equação E.14 aplicando as seguintes definições:

$$ELMQ_t = EMQ_t - IMQ_t \quad \text{Equação E.10}$$

$ELMQ_t$ = carbono associado à exportação líquida de madeira em bruto para queima, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

$$ELMI_t = EMI_t - IMI_t \quad \text{Equação E.11}$$

$ELMI_t$ = carbono associado à exportação líquida de madeira industrial em bruto, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

$$PPL_{ti} = CPL_{ti} - IPL_{ti} + EPL_{ti} \quad \text{Equação E.12}$$

CPL_{ti} = carbono associado ao consumo do produto i com tempo de vida longo, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

IPL_{ti} = carbono associado à importação do produto i com tempo de vida longo, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

EPL_{ti} = carbono associado à exportação do produto i com tempo de vida longo, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

$$ELP_{ti} = EPC_{ti} + EPL_{ti} - IPC_{ti} - IPL_{ti} \quad \text{Equação E.13}$$

ELP_{ti} = carbono associado à exportação líquida do produto i , no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

$$R_{AFA_t} = ELMI_t + ELMQ_t + \sum_i CPL_{ti} - \sum_i ECPL_{ti} + \sum_i ELP_{ti} \quad \text{Equação E.14}$$

A Equação E.14 é equivalente à Equação E.16 aplicando a seguinte definição:

$$R_{SCA_t} = \sum_i VSPC_{ti} = \sum_i CPL_{ti} - \sum_i ECPL_{ti} \quad \text{Equação E.15}$$

R_{SCA_t} = remoção de carbono dada pela *stock-change approach*, no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$);

$VSPC_{ti}$ = variação dos *stocks* de carbono no produto consumido i , no ano t ($Gg\ C\ ano^{-1}$).

$$R_{AFA_t} = R_{SCA_t} + ELMI_t + ELMQ_t + \sum_i ELP_{ti} \quad \text{Equação E.16}$$

Anexo F

Destino final dos produtos florestais em Portugal

Tabela F.1 - Destino final dado ao papel e cartão em Portugal.

Ano	Fracção de papel e cartão para:					
	Reciclagem (1)	Aterro sanitário (2)	Lixeira (2)	Compostagem (2)	Incineração (2)	Não recolhido (2)
1900	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72
1910	0,28	0,00	0,05	0,00	0,00	0,67
1920	0,28	0,00	0,10	0,00	0,00	0,62
1930	0,28	0,00	0,14	0,00	0,00	0,58
1940	0,28	0,00	0,19	0,00	0,00	0,53
1950	0,28	0,00	0,24	0,00	0,00	0,48
1960	0,28	0,00	0,29	0,00	0,00	0,43
1970	0,28	0,00	0,37	0,00	0,00	0,35
1971	0,28	0,00	0,38	0,00	0,00	0,34
1972	0,26	0,00	0,40	0,00	0,00	0,34
1973	0,31	0,00	0,38	0,00	0,00	0,31
1974	0,29	0,00	0,40	0,00	0,00	0,31
1975	0,38	0,00	0,36	0,00	0,00	0,26
1976	0,40	0,00	0,36	0,00	0,00	0,24
1977	0,36	0,00	0,39	0,00	0,00	0,25
1978	0,32	0,00	0,42	0,00	0,00	0,26
1979	0,37	0,00	0,40	0,00	0,00	0,23
1980	0,37	0,00	0,39	0,01	0,00	0,23
1981	0,30	0,01	0,44	0,02	0,00	0,24
1982	0,32	0,02	0,43	0,02	0,00	0,21
1983	0,32	0,03	0,43	0,02	0,00	0,20
1984	0,34	0,03	0,43	0,02	0,00	0,17
1985	0,33	0,05	0,44	0,03	0,00	0,16
1986	0,26	0,06	0,48	0,03	0,00	0,16
1987	0,31	0,07	0,45	0,04	0,00	0,13
1988	0,42	0,07	0,38	0,03	0,00	0,10
1989	0,42	0,08	0,38	0,04	0,00	0,08
1990	0,41	0,09	0,39	0,04	0,00	0,07
1991	0,41	0,10	0,39	0,04	0,00	0,06
1992	0,39	0,10	0,41	0,04	0,00	0,06
1993	0,38	0,10	0,43	0,05	0,00	0,05
1994	0,37	0,11	0,43	0,05	0,00	0,04
1995	0,39	0,09	0,44	0,05	0,00	0,03
1996	0,41	0,21	0,32	0,03	0,00	0,03
1997	0,40	0,23	0,30	0,03	0,00	0,03
1998	0,41	0,31	0,21	0,03	0,00	0,03
1999	0,43	0,34	0,13	0,03	0,04	0,03
2000	0,45	0,32	0,08	0,03	0,12	0,00

(1) A fracção de papel e cartão que é enviada para reciclagem corresponde à taxa de recuperação de papel e cartão (quociente entre a recuperação de papel velho e o consumo de papel e cartão). Os valores da taxa de recuperação entre os anos de 1991 e 2000 foram publicados pela Celpa (Celpa, 1997; Celpa, 1998; Celpa, 1999; Celpa, 2001; Celpa, 2003), e os valores dos anos 1970 a 1990 foram calculados com base em dados estatísticos gerados por várias fontes, nomeadamente, a Celpa (Celpa, 1985; Celpa, 1986; Celpa, 1990; Celpa, 1995; Celpa, 1996), a DGF (DGF, 1991), o IPF (IPF, 1981) e o INE (INE, 1971-1979a; INE, 1971-1979b). De 1900 a 1969, foi adoptada a mesma taxa de recuperação do ano 1970, porque, por um lado, no período de 1900 a 1943, não há informação estatística que permita o cálculo da taxa de recuperação e, por outro lado, no período de 1944 a 1969, em que

existem dados estatísticos do INE disponíveis, as taxas de recuperação estimadas a partir deles não são fiáveis por dois motivos principais. Em primeiro lugar, porque as taxas de recuperação obtidas para este período apresentam variações anuais consideráveis que não se devem apenas a alterações ao nível industrial (por exemplo, no ano 1968 a taxa de recuperação é de 0,27 e no ano seguinte desce significativamente para 0,09). Em segundo lugar, porque as taxas de recuperação obtidas para o período de 1970 a 2000, a partir de dados exclusivamente do INE, também não são fiáveis pois diferem, na maioria dos anos, das usadas no presente estudo (por exemplo, no ano 1973, em que as diferenças entre as duas estimativas são mais acentuadas, a taxa de recuperação calculada com dados só do INE é de 0,65, enquanto que a usada no presente estudo é de 0,31).

- (2) As fracções de papel e cartão enviadas para aterro sanitário, lixeira, compostagem e incineração e a fracção não sujeita a recolha foram estimadas considerando que o papel e cartão que não é reciclado é parte integrante dos RSU e, como tal, apresenta as mesmas alternativas de destino final e distribui-se por elas nas mesmas proporções que os RSU.

Os valores usados para as fracções de RSU enviadas para aterro sanitário, lixeira, compostagem e incineração foram estabelecidos com base em informação publicada pelo INR (INR, 1997; INR, 2000), pelo IA (Ferreira *et al.*, 2004), e pela Quercus (Quercus, 1995). Para o período de 1900 a 1959, não abrangido por dados estatísticos, adoptaram-se os valores referentes ao ano 1960, fornecidos por Ferreira *et al.* (2004), que consideram a lixeira como única alternativa para o destino final dos RSU.

Os dados referentes à fracção de RSU não abrangidos por um sistema de recolha foram estimados pelo IA (Ferreira *et al.*, 2004), para o período compreendido entre 1960 a 2000. De 1900 a 1960, considerou-se um decréscimo linear da fracção de RSU não recolhidos, partindo do princípio que em 1900 esta fracção era igual a 1.

Tabela F.2 - Destino final dado aos produtos de madeira sólida em Portugal.

Ano	Fracção de produtos de madeira sólida para:		
	Aterro sanitário (1)	Lixeira (1)	Outros destinos
1900	0,00	0,00	1,00
1910	0,00	0,00	1,00
1920	0,00	0,01	0,99
1930	0,00	0,01	0,99
1940	0,00	0,01	0,99
1950	0,00	0,02	0,98
1960	0,00	0,02	0,98
1970	0,00	0,03	0,97
1971	0,00	0,03	0,97
1972	0,00	0,03	0,97
1973	0,00	0,03	0,97
1974	0,00	0,03	0,97
1975	0,00	0,03	0,97
1976	0,00	0,03	0,97
1977	0,00	0,03	0,97
1978	0,00	0,03	0,97
1979	0,00	0,03	0,97
1980	0,00	0,03	0,97
1981	0,00	0,03	0,97
1982	0,00	0,03	0,97
1983	0,00	0,03	0,97
1984	0,00	0,03	0,97
1985	0,00	0,03	0,97
1986	0,00	0,03	0,97
1987	0,01	0,03	0,96
1988	0,01	0,03	0,96
1989	0,01	0,03	0,96
1990	0,01	0,04	0,95
1991	0,01	0,03	0,96
1992	0,01	0,03	0,96
1993	0,01	0,03	0,96
1994	0,01	0,03	0,96
1995	0,01	0,04	0,95
1996	0,02	0,03	0,95
1997	0,02	0,03	0,95
1998	0,03	0,02	0,95
1999	0,03	0,01	0,96
2000	0,03	0,01	0,96

(1) As fracções de produtos de madeira sólida enviadas para aterro sanitário e lixeira foram obtidas considerando que 5% desses produtos são integrados em sistemas de gestão de RSU e que possuem o mesmo destino final, e nas mesmas proporções, que os RSU. A origem dos valores usados para as fracções de RSU enviadas para aterro sanitário e lixeira foi descrita nas notas da Tabela F.1 relativa ao destino final do papel e cartão.

Anexo G

**Equivalências entre a classificação dos produtos florestais
segundo a FAO e as posições pautais das nomenclaturas de
comércio internacional e de produção do INE**

Nas Tabelas G.1 a G.10 são apresentadas as equivalências entre a classificação dos produtos florestais da FAO e as posições pautais das várias classificações a que obedecem os dados de comércio internacional do INE, nomeadamente:

- a Pauta Aduaneira de 1942, em vigor de 1943 a 1950;
- a Pauta Aduaneira de 1950, em vigor de 1951 a 1959;
- a Pauta Aduaneira de 1959, em vigor de 1960 a 1965, com alterações introduzidas nos anos 1961 e 1962;
- a Classificação Nacional de Mercadorias para as Estatísticas do Comércio Externo (CMCE), em vigor de 1966 a 1982, com alterações introduzidas nos anos 1967, 1968, 1972 e 1978;
- a Nomenclatura Estatística de Mercadorias do Comércio Externo (NEMCE), em vigor de 1983 a 1987;
- a Nomenclatura Combinada, em vigor a partir de 1988.

Na Tabela G.11 são apresentadas as equivalências entre a classificação dos produtos florestais da FAO e as posições pautais da Produção Comunitária (PRODCOM), a classificação a que obedecem os dados de produção do INE a partir do ano 1992.

A classificação da FAO adoptada para efectuar as equivalências acima referidas não inclui as alterações introduzidas pelo JQ (ver Anexo D). É de notar ainda que, nos dados do INE, a madeira perfilada foi excluída da madeira serrada já que é reportada conjuntamente com os tacos e frisos para soalho a partir de 1988, no comércio, e de 1992, na produção. Esta exclusão tem pouco impacto no total de madeira serrada pois as quantidades de madeira perfilada produzida, importada e exportada são pouco significativas.

Nas tabelas G.1 a G.11 foi adoptada a seguinte simbologia:

- C = valor calculado a partir da soma dos valores apurados para as subdivisões específicas de cada material;
- células não preenchidas = valor não disponível.

Tabela G.1 - Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da Pauta Aduaneira de 1942 a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1943 a 1950.

Material	Pauta Aduaneira de 1942 (anos 1943 a 1950)	
	Importação	Exportação
1. Madeira em bruto		C
1.1. Madeira em bruto para queima	78	142
1.2. Madeira industrial em bruto		C
Resinosas		C
Folhosas		C
1.2.1. Madeira para serrar e folhear		C
Resinosas		120
Folhosas	82	124
1.2.2. Madeira para trituração		C
Resinosas		119
Folhosas		118
1.2.3. Outra madeira industrial	83 + 84	C
Resinosas		137
Folhosas		138
Resinosas + Folhosas		123 + 128 + 129 + 130 + 145
2. Aparas e partículas		
3. Resíduos de madeira		140
4. Madeira serrada	85 + 86 + 87 + 88 + 89	C
Resinosas		121 + 122 + 1008 + 1009
Folhosas		125 + 126 + 1011
Travessas de caminho de ferro		131
5. Painéis de madeira		C
5.1. Folhas de madeira	90	
5.2. Contraplacados		1012
5.3. Painéis de partículas		
5.4. Painéis de fibras		
5.4.1. Painéis de fibras duros		
5.4.2. Painéis MDF		
5.4.3. Painéis isolantes		
6. Pasta de madeira	112-2	141
7. Outra pasta		
7.1. Pasta de outras fibras		
7.2. Pasta de fibra recuperada		
8. Papel recuperado		
9. Papel e cartão		C
9.1. Papel de jornal	927 + 928	1148
9.2. Papel de impressão e escrita		1149
9.3. Outro papel e cartão	907 + 908-A + 926 + 936 + 938	1151 + 1152 + 1160

Tabela G.2 - Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da Pauta Aduaneira de 1950 a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1951 a 1959.

Material	Pauta Aduaneira de 1950 (anos 1951 a 1959)	
	Importação	Exportação
1. Madeira em bruto	C	
1.1. Madeira em bruto para queima	78	142
1.2. Madeira industrial em bruto	C	
Resinosas	C	
Folhosas	C	
1.2.1. Madeira para serrar e folhear	C	
Resinosas	82-1	120
Folhosas	82-2	124
1.2.2. Madeira para trituração	C	
Resinosas	119	
Folhosas	118	
1.2.3. Outra madeira industrial	C	
Resinosas	83-1 + 84-1	137
Folhosas	83-2 + 84-2	138
Resinosas + Folhosas	123 + 128 + 129 + 130 + 145	
2. Aparas e partículas		
3. Resíduos de madeira	140	
4. Madeira serrada	C	
Resinosas	85-1 + 86-1 + 87-1 + 88-1 + 89-1	121 + 122 + 1008 + 1009
Folhosas	85-2 + 86-2 + 87-2 + 88-2 + 89-2	125 + 126 + 1011
Travessas de caminho de ferro		
5. Painéis de madeira	C	
5.1. Folhas de madeira	90-1 + 90-2	
5.2. Contraplacados	1012	
5.3. Painéis de partículas		
5.4. Painéis de fibras		
5.4.1. Painéis de fibras duros		
5.4.2. Painéis MDF		
5.4.3. Painéis isolantes		
6. Pasta de madeira	99-A + 99-C	141 + 423-A
7. Outra pasta		
7.1. Pasta de outras fibras		
7.2. Pasta de fibra recuperada		
8. Papel recuperado		
9. Papel e cartão	C	
9.1. Papel de jornal	926-A + 927	1148
9.2. Papel de impressão e escrita	928 + 928-A + 934-B + 936-D + 936-E	1149
9.3. Outro papel e cartão	906-A + 906-B + 907 + 907-A + 908-A + 926 + 936 + 936-A + 936-B + 936-C + 936-F + 936-G + 936-H + 938	1151 + 1152 + 1160

Tabela G.3 - Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da Pauta Aduaneira de 1959 a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1960.

Material	Pauta Aduaneira de 1959 (ano 1960)	
	Importação	Exportação
1. Madeira em bruto		C
1.1. Madeira em bruto para queima		4401
1.2. Madeira industrial em bruto		C
Resinosas		C
Folhosas		C
1.2.1. Madeira para serrar e folhear		C
Resinosas	44030302	44030308 + 44040002
Folhosas	44030301 + 4404	44030307 + 44040001
1.2.2. Madeira para trituração		C
Resinosas		44030302
Folhosas		44030301
1.2.3. Outra madeira industrial	44030100 + 44030200	44030100 + 44030200 + 44030304 + 44030305 + 44030306 + 44030399
Resinosas		
Folhosas		
Resinosas + Folhosas		
2. Aparas e partículas		
3. Resíduos de madeira		
4. Madeira serrada		C
Resinosas	44050102 + 44050202 + 44050302 + 44050402 + 44050502	44050100 + 44050202 + 44050302 + 44050324 + 44050402 + 44050502 + 44210005
Folhosas	44050101 + 44050201 + 44050301 + 44050401 + 44050501	44050101 + 44050201 + 44050301 + 44050323 + 44050401 + 44050501
Travessas de caminho de ferro		4407
5. Painéis de madeira		C
5.1. Folhas de madeira		4414
5.2. Contraplacados	4415	44150001
5.3. Painéis de partículas		4418
5.4. Painéis de fibras		4809
5.4.1. Painéis de fibras duros		
5.4.2. Painéis MDF		
5.4.3. Painéis isolantes		
6. Pasta de madeira	44070100 + 44070201 + 44070202 + 44070221 + 44070222	
7. Outra pasta		C
7.1. Pasta de outras fibras	47010109 + 44070230 + 44070240 + 44070261 + 44070262	
7.2. Pasta de fibra recuperada		
8. Papel recuperado		4702
9. Papel e cartão		C
9.1. Papel de jornal		48010200 + 48010300
9.2. Papel de impressão e escrita	48010400 + 48010500 + 4802 + 4806 + 48070400	
	48010100 + 48010600 + 48010700 + 48010800 + 48010900 + 48011000 +	
9.3. Outro papel e cartão	48011100 + 48011200 + 48011300 + 48011400 + 4803 + 4805 + 48070100 + 48070200 + 48070300 + 48070500 + 48070600 + 48070700	

Tabela G.4 - Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da Pauta Aduaneira de 1959 a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1961.

Material	Pauta Aduaneira de 1959 (ano 1961)	
	Importação	Exportação
1. Madeira em bruto		C
1.1. Madeira em bruto para queima		4401
1.2. Madeira industrial em bruto		C
Resinosas		C
Folhosas		C
1.2.1. Madeira para serrar e folhear		C
Resinosas	44030302	44030308 + 44040002
Folhosas	44030301 + 4404	44030307 + 44040001
1.2.2. Madeira para trituração		C
Resinosas		44030302
Folhosas		44030301
1.2.3. Outra madeira industrial		C
Resinosas	44030102 + 44030202	44030202
Folhosas	44030101 + 44030201	44030201
Resinosas + Folhosas		44030100 + 44030304 + 44030305 + 44030306 + 44030399
2. Aparas e partículas		
3. Resíduos de madeira		
4. Madeira serrada		C
Resinosas	44050102 + 44050202 + 44050302 + 44050402 + 44050502	44050102 + 44050202 + 44050302 + 44050324 + 44050402 + 44050502 + 44210005
Folhosas	44050101 + 44050201 + 44050301 + 44050401 + 44050501	44050101 + 44050201 + 44050301 + 44050323 + 44050401 + 44050501
Travessas de caminho de ferro		4407
5. Painéis de madeira		C
5.1. Folhas de madeira		4414
5.2. Contraplacados	4415	44150001
5.3. Painéis de partículas		4418
5.4. Painéis de fibras		4809
5.4.1. Painéis de fibras duros		
5.4.2. Painéis MDF		
5.4.3. Painéis isolantes		
6. Pasta de madeira	44070100 + 44070201 + 44070202 + 44070221 + 44070222	
7. Outra pasta		C
7.1. Pasta de outras fibras	47010109 + 44070230 + 44070240 + 44070261 + 44070262	
7.2. Pasta de fibra recuperada		
8. Papel recuperado		4702
9. Papel e cartão		C
9.1. Papel de jornal		48010200 + 48010300
9.2. Papel de impressão e escrita	48010400 + 48010500 + 4802 + 4806 + 48070400 48010100 + 48010600 + 48010700 + 48010800 + 48010900 + 48011000 +	
9.3. Outro papel e cartão	48011100 + 48011200 + 48011300 + 48011400 + 4803 + 4805 + 48070100 + 48070200 + 48070300 + 48070500 + 48070600 + 48070700	

Tabela G.5 - Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da Pauta Aduaneira de 1959 a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1962 a 1965.

Material	Pauta Aduaneira de 1959 (anos 1962 a 1965)	
	Importação	Exportação
1. Madeira em bruto		C
1.1. Madeira em bruto para queima		4401
1.2. Madeira industrial em bruto		C
Resinosas		C
Folhosas		C
1.2.1. Madeira para serrar e folhear		C
Resinosas	44030303 + 44040002	44030329 + 44040002
Folhosas	44030302 + 44040001	44030319 + 44040001
1.2.2. Madeira para trituração	44030301	C
Resinosas		44030302
Folhosas		44030301
1.2.3. Outra madeira industrial		C
Resinosas	44030102 + 44030202	
Folhosas	44030101 + 44030201	
Resinosas + Folhosas	44030309	44030303 + 44030304 + 44030305 + 44030399
2. Aparas e partículas		
3. Resíduos de madeira		
4. Madeira serrada		C
Resinosas	44050102 + 44050202 + 44050302 + 44050324 + 44050402 + 44050502	44050102 + 44050202 + 44050302 + 44050324 + 44050402 + 44050502 + 44210003
Folhosas	44050101 + 44050201 + 44050301 + 44050323 + 44050401 + 44050501	44050101 + 44050201 + 44050301 + 44050323 + 44050401 + 44050501 + 44210002
Travessas de caminho de ferro		4407
5. Painéis de madeira		C
5.1. Folhas de madeira		4414
5.2. Contraplacados		4415
5.3. Painéis de partículas		4418
5.4. Painéis de fibras		4809
5.4.1. Painéis de fibras duros		
5.4.2. Painéis MDF		
5.4.3. Painéis isolantes		
6. Pasta de madeira	47010101 + 47010201 + 47010211 + 47010212 + 47010221 + 47010222 + 47010230	47010101 + 47010201 + 47010211 + 47010212 + 47010213 + 47010221 + 47010222 + 47010230
7. Outra pasta		C
7.1. Pasta de outras fibras	47010109 + 44070240 + 44070241 + 44070250 + 44070252 + 44070259	
7.2. Pasta de fibra recuperada		
8. Papel recuperado		4702
9. Papel e cartão		C
9.1. Papel de jornal	48010200 + 48010300 + 48010401	
9.2. Papel de impressão e escrita	48010402 + 48010500 + 4802 + 4806 + 48070201 + 48070400	
9.3. Outro papel e cartão	48010100+48010600+48010700+48010800+48010901+48010902+48010903+ 48010909+48011000+48011101+48011109+48011200+48011300+48011400+ 4803+4805+48070100+48070209+48070300+48070500+48070600+48070700	

Tabela G.6 - Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da CMCE a que obedecem os dados de comércio internacional do INE em 1966 e 1967.

Material	CMCE (ano 1966)	CMCE (ano 1967)
1. Madeira em bruto		C
1.1. Madeira em bruto para queima		4401
1.2. Madeira industrial em bruto		C
Resinosas		C
Folhosas		C
1.2.1. Madeira para serrar e folhear		C
Resinosas	44030317 + 44040002	44030360 + 44040002
Folhosas	44030316 + 44040001	44030321 a 44030359 + 44040001
1.2.2. Madeira para trituração		C
Resinosas	44030312	44030303 + 44030304
Folhosas	44030311	44030301 + 44030302
1.2.3. Outra madeira industrial		C
Resinosas	44030102 + 44030202	44030102 + 44030202 + 44030306 + 44030393
Folhosas	44030101 + 44030201	44030101 + 44030201 + 44030305 + 44030391
Resinosas + Folhosas	44030313 + 44030314 + 44030315 + 44030399	44030307 + 44030308
2. Aparas e partículas		
3. Resíduos de madeira		
4. Madeira serrada		C
Resinosas	44050102 + 44050202 + 44050302 + 44050324 + 44050402 + 44050502 + 44210003	44050160 + 44050260 + 44050360 + 44050420 + 44050460 + 44050502 + 44210003
Folhosas	44050101 + 44050201 + 44050301 + 44050323 + 44050401 + 44050501 + 44210002	44050121 a 44050159 + 44050221 a 44050259 + 44050321 a 44050359 + 44050418 + 44050421 a 44050459 + 44050501 + 44210002
Travessas de caminho de ferro		4407
5. Painéis de madeira		C
5.1. Folhas de madeira		4414
5.2. Contraplacados		4415
5.3. Painéis de partículas		4418
5.4. Painéis de fibras	4809	C
5.4.1. Painéis de fibras duros		48090002
5.4.2. Painéis MDF		
5.4.3. Painéis isolantes		48090001
6. Pasta de madeira	47010101+47010201+47010211+47010213+47010221+47010222+47010230	
7. Outra pasta		C
7.1. Pasta de outras fibras	47010109 + 44070240 + 44070241 + 44070250 + 44070252 + 44070259	
7.2. Pasta de fibra recuperada		
8. Papel recuperado		4702
9. Papel e cartão		C
9.1. Papel de jornal	48010200 + 48010300 + 48010401	
9.2. Papel de impressão e escrita	48010402 + 48010500 + 4802 + 4806 + 48070201 + 48070400	
9.3. Outro papel e cartão	48010100 + 48010600 + 48010700 + 48010800 + 48010901 + 48010902 + 48010903 + 48010909 + 48011000 + 48011101 + 48011109 + 48011200 + 48011300 + 48011400 + 4803+4805 + 48070100 + 48070209 + 48070300 + 48070500 + 48070600 + 48070700	48010100 + 48010600 + 48010700 + 48010800 + 48010901 + 48010902 + 48010903 + 48010909 + 48011000 + 48011101 + 48011109 + 48011200 + 48011300 + 48011400 + 4803 + 4805 + 48070100 + 48070209 + 48070300 + 48070500 + 48070601 + 48070609 + 48070701 + 48070709

Tabela G.7 - Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da CMCE a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1968 a 1977.

Material	CMCE (anos 1968 a 1971)	CMCE (anos 1972 a 1977)
1. Madeira em bruto		C
1.1. Madeira em bruto para queima		4401
1.2. Madeira industrial em bruto		C
Resinosas		C
Folhosas		C
1.2.1. Madeira para serrar e folhear		C
Resinosas		44030360 + 44040002
Folhosas		44030321 a 44030359 + 44040001
1.2.2. Madeira para trituração		C
Resinosas		44030303 + 44030304
Folhosas		44030301 + 44030302
1.2.3. Outra madeira industrial		C
Resinosas		44030102 + 44030202 + 44030306 + 44030393
Folhosas		44030101 + 44030201 + 44030305 + 44030391
Resinosas + Folhosas		44030307 + 44030308
2. Aparas e partículas		
3. Resíduos de madeira		
4. Madeira serrada		C
Resinosas		44050160 + 44050260 + 44050360 + 44050420 + 44050460 + 44050522 + 44050532
Folhosas		44050121 a 44050159 + 44050221 a 44050259 + 44050321 a 44050359 + 44050418 + 44050421 a 44050459 + 44050521 + 44050531
Travessas de caminho de ferro		4407
5. Painéis de madeira		C
5.1. Folhas de madeira		4414
5.2. Contraplacados		4415
5.3. Painéis de partículas		4418
5.4. Painéis de fibras		C
5.4.1. Painéis de fibras duros		
5.4.2. Painéis MDF		48090002
5.4.3. Painéis isolantes		48090001
6. Pasta de madeira	47010101 + 47010201 + 47010211 + 47010213 + 47010221 + 47010222 + 47010230	47010101 + 47010201 + 47010211 + 47010214 + 47010215 + 47010221 + 47010223 + 47010224 + 47010230
7. Outra pasta		C
7.1. Pasta de outras fibras	47010109 + 44070240 + 44070241 + 44070250 + 44070252 + 44070259	47010109 + 44070242 + 44070251 + 44070253 + 44070256 + 44070259
7.2. Pasta de fibra recuperada		
8. Papel recuperado		4702
9. Papel e cartão		C
9.1. Papel de jornal		48010200 + 48010300 + 48010401
9.2. Papel de impressão e escrita		48010402 + 48010500 + 4802 + 4806 + 48070201 + 48070400 48010100 + 48010600 + 48010700 + 48010800 + 48010901 + 48010902 + 48010903 + 48010909 + 48011000 + 48011101 + 48011109 + 48011200 + 48011300 + 48011400 + 4803 + 4805 + 48070100 + 48070209 + 48070300 + 48070500 + 48070601 + 48070609 + 48070701 + 48070709

Tabela G.8 - Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da CMCE a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1978 a 1982.

Material	CMCE (anos 1978 a 1982)
1. Madeira em bruto	C
1.1. Madeira em bruto para queima	44010001
1.2. Madeira industrial em bruto	C
Resinosas	C
Folhosas	C
1.2.1. Madeira para serrar e folhear	C
Resinosas	44030360 + 44040002
Folhosas	44030321 a 44030359 + 44040001
1.2.2. Madeira para trituração	C
Resinosas	44030303 + 44030304
Folhosas	44030301 + 44030302
1.2.3. Outra madeira industrial	C
Resinosas	44030102 + 44030202 + 44030306 + 44030393
Folhosas	44030101 + 44030201 + 44030305 + 44030391
Resinosas + Folhosas	44030307 + 44030308
2. Aparas e partículas	44090101
3. Resíduos de madeira	44010002
4. Madeira serrada	C
Resinosas	44050160 + 44050260 + 44050360 + 44050420 + 44050460 + 44050522 + 44050532
Folhosas	44050121 a 44050159 + 44050221 a 44050259 + 44050321 a 44050359 + 44050418 + 44050421 a 44050459 + 44050521 + 44050531
Travessas de caminho de ferro	4407
5. Painéis de madeira	C
5.1. Folhas de madeira	4414
5.2. Contraplacados	44150001 + 44150002
5.3. Painéis de partículas	4418
5.4. Painéis de fibras	C
5.4.1. Painéis de fibras duros	
5.4.2. Painéis MDF	44110002
5.4.3. Painéis isolantes	44110001
6. Pasta de madeira	47010101 + 47010201 + 47010211 + 47010214 + 47010215 + 47010221 + 47010223 + 47010224 + 47010230
7. Outra pasta	C
7.1. Pasta de outras fibras	47010109 + 44070242 + 44070251 + 44070253 + 44070256 + 44070259
7.2. Pasta de fibra recuperada	
8. Papel recuperado	4702
9. Papel e cartão	C
9.1. Papel de jornal	48010201 + 48010301 + 48010401 + 48010501
9.2. Papel de impressão e escrita	48010202 + 48010302 + 48010402 + 48010502 + 48011500 + 48070100 + 48070200 + 48070300 + 48070400 + 48070601 + 48070800
9.3. Outro papel e cartão	48010100 + 48010600 + 48010700 + 48010800 + 48010901 + 48010902 + 48010903 + 48010909 + 48011000 + 48011101 + 48011109 + 48011200 + 48011300 + 48011400 + 4803 + 4805 + 48070500 + 48070609 + 48070700 + 48070900 + 48071001 + 48071009 + 48071101 + 48071109

Tabela G.9 - Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da NEMCE a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1983 a 1987.

Material	NEMCE (anos 1983 a 1987)
1. Madeira em bruto	C
1.1. Madeira em bruto para queima	4401100
1.2. Madeira industrial em bruto	C
Resinosas	C
Folhosas	C
1.2.1. Madeira para serrar e folhear	C
Resinosas	4403400 + 4404910
Folhosas	4403210 a 4403289 + 4403710 a 4403799 + 4404200 + 4404980
1.2.2. Madeira para trituração	C
Resinosas	4403300
Folhosas	4403600
1.2.3. Outra madeira industrial	C
Resinosas	4403200 + 4403510 + 4403520 + 4403540 + 4403580
Folhosas	4403910 + 4403990
Resinosas + Folhosas	
2. Aparas e partículas	4409100
3. Resíduos de madeira	4401400 + 4401900
4. Madeira serrada	C
Resinosas	4405100 + 4405201 + 4405203 + 4405205 + 4405209 + 4405401 + 4405403 + 4405405 + 4405409
Folhosas	4405330 + 4405391 + 4405398 + 4405399 + 4405710 + 4405730 + 4405740 + 4405750 + 4405791 + 4405799
Travessas de caminho de ferro	4407
5. Painéis de madeira	C
5.1. Folhas de madeira	
5.2. Contraplacados	4415
5.3. Painéis de partículas	4418
5.4. Painéis de fibras	C
5.4.1. Painéis de fibras duros	4411100 + 4411200
5.4.2. Painéis MDF	4411410 + 4411490
5.4.3. Painéis isolantes	4411910 + 4411990
6. Pasta de madeira	4701020 + 4701120 + 4701200 + 4701320 + 4701340 + 4701361 + 4701365 + 4701381 + 4701385 + 4701610 + 4701690 + 4701711 + 4701715 + 4701791 + 4701795
7. Outra pasta	C
7.1. Pasta de outras fibras	4701910 + 4701950
7.2. Pasta de fibra recuperada	4701990
8. Papel recuperado	4702
9. Papel e cartão	C
9.1. Papel de jornal	4801010 + 4801790
9.2. Papel de impressão e escrita	4801570 + 4801590 + 4801680 + 4801700 + 4801710 + 4801720 + 4801760 + 4801780 + 4801800 + 4801810 + 4807100 + 4807560 + 4807570 + 4807580 + 4807590 + 4807640 + 4807970
9.3. Outro papel e cartão	4801050 + 4801060 + 4801070 + 4801100 + 4801200 + 4801220 + 4801240 + 4801300 + 4801320 + 4801340 + 4801360 + 4801380 + 4801390 + 4801400 + 4801420 + 4801440 + 4801460 + 4801500 + 4801510 + 4801600 + 4801630 + 4801670 + 4801740 + 4801830 + 4801850 + 4801870 + 4801890 + 4801900 + 4801920 + 4801940 + 4801960 + 4801980 + 4801990 + 4803 + 4805 + 4807300 + 4807410 + 4807450 + 4807550 + 4807670 + 4807710 + 4807730 + 4807750 + 4807770 + 4807850 + 4807910 + 4807980

Tabela G.10 - Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da Nomenclatura Combinada a que obedecem os dados de comércio internacional do INE de 1988 a 2000.

Material	Nomenclatura Combinada (anos 1988 a 2000)
1. Madeira em bruto	C
1.1. Madeira em bruto para queima	440110
1.2. Madeira industrial em bruto	C
Resinosas	440320
Folhosas	440341 + 440349 + 440391 + 440392 + 440399
1.2.1. Madeira para serrar e folhear	
Resinosas	
Folhosas	
1.2.2. Madeira para trituração	
Resinosas	
Folhosas	
1.2.3. Outra madeira industrial	
Resinosas	
Folhosas	
Resinosas + Folhosas	440310
2. Aparas e partículas	440121 + 440122
3. Resíduos de madeira	440130
4. Madeira serrada	C
Resinosas	440710
Folhosas	440724 + 440725 + 440726 + 440729 + 440791 + 440792 + 440799
Travessas de caminho de ferro	4406
5. Painéis de madeira	C
5.1. Folhas de madeira	4408
5.2. Contraplacados	4412
5.3. Painéis de partículas	441011 + 441019
5.4. Painéis de fibras	C
5.4.1. Painéis de fibras duros	441111 + 441119
5.4.2. Painéis MDF	441121 + 441129
5.4.3. Painéis isolantes	441131 + 441139 + 441191 + 441199
6. Pasta de madeira	4701 + 4702 + 4703 + 4704 + 4705
7. Outra pasta	C
7.1. Pasta de outras fibras	4706
7.2. Pasta de fibra recuperada	4707
8. Papel recuperado	
9. Papel e cartão	C
9.1. Papel de jornal	4801
9.2. Papel de impressão e escrita	4802 + 4809 + 481011 + 481012 + 481021 + 481029
9.3. Outro papel e cartão	4803 + 4804 + 4805 + 4806 + 4808 + 481031 + 481032 + 481039 + 481091 + 481099 + 4811 + 481390

Tabela G.11 - Equivalências entre a classificação dos produtos florestais adoptada e as posições pautais da PRODCOM a que obedecem os dados de produção do INE de 1992 a 2000.

Material	PRODCOM (anos 1992 a 2000)
2. Aparas e partículas	20.10.23.03 + 20.10.23.05
3. Resíduos de madeira	20.10.40.05 + 20.10.40.09
4. Madeira serrada	C
Resinosas	20.10.10.31 + 20.10.10.33 + 20.10.10.35 + 20.10.10.37 + 20.10.10.39 ⁽¹⁾
Folhosas	20.10.10.53 + 20.10.10.55 + 20.10.10.57 + 20.10.10.59 ⁽²⁾
Travessas de caminho de ferro	20.10.10.10 + 20.10.32.00
5. Painéis de madeira	C
5.1. Folhas de madeira	20.20.21.13 + 20.20.21.17 + 20.20.21.19 ⁽³⁾
5.2. Contraplacados	20.20.11.03 + 20.20.11.05 + 20.20.11.09 + 20.20.12.33 + 20.20.12.35 + 20.20.12.39 + 20.20.12.53 + 20.20.12.55 + 20.20.12.59
5.3. Painéis de partículas	20.20.13.33 + 20.20.13.35 + 20.20.13.37 + 20.20.13.39
5.4. Painéis de fibras	C
5.4.1. Painéis de fibras duros	20.20.14.13 + 20.20.14.15
5.4.2. Painéis MDF	20.20.14.33 + 20.20.14.35
5.4.3. Painéis isolantes	20.20.14.53 + 20.20.14.55 + 20.20.14.73 + 20.20.14.75
6. Pasta de madeira	21.11.11.00 + 21.11.12.13 + 21.11.12.15 + 21.11.12.53 + 21.11.12.55 + 21.11.13.13 + 21.11.13.15 + 21.11.13.53 + 21.11.13.55 + 21.11.14.15 + 21.11.14.19 + 21.11.14.30 + 21.11.14.33 + 21.11.14.35 + 21.11.14.39
7. Outra pasta	C
7.1. Pasta de outras fibras	21.11.14.50
7.2. Pasta de fibra recuperada	
8. Papel recuperado	
9. Papel e cartão	C
9.1. Papel de jornal	21.12.11.00
9.2. Papel de impressão e escrita	21.12.12.00 + 21.12.13.10 + 21.12.13.30 + 21.12.13.55 + 21.12.13.59 + 21.12.14.10 + 21.12.14.35 + 21.12.14.39 + 21.12.14.50 + 21.12.14.75 + 21.12.14.79 + 21.12.53.35 + 21.12.53.39 + 21.12.53.50 + 21.12.53.53 + 21.12.53.55 + 21.12.53.60 + 21.12.53.75 + 21.12.53.79 + 21.12.55.30 + 21.12.55.50 + 21.12.55.90 + 21.12.57.30
9.3. Outro papel e cartão	21.12.21.30 + 21.12.21.55 + 21.12.21.57 + 21.12.21.90 + 21.12.22.50 + 21.12.22.90 + 21.12.23.15 + 21.12.23.19 + 21.12.23.33 + 21.12.23.35 + 21.12.23.37 + 21.12.23.50 + 21.12.24.00 + 21.12.25.10 + 21.12.25.35 + 21.12.25.39 + 21.12.25.50 + 21.12.25.75 + 21.12.25.79 + 21.12.30.10 + 21.12.30.20 + 21.12.30.30 + 21.12.30.40 + 21.12.30.50 + 21.12.30.60 + 21.12.30.73 + 21.12.30.75 + 21.12.30.79 + 21.12.30.83 + 21.12.30.85 + 21.12.30.89 + 21.12.40.10 + 21.12.40.30 + 21.12.40.50 + 21.12.40.70 + 21.12.52.30 + 21.12.52.50 + 21.12.54.30 + 21.12.54.53 + 21.12.54.55 + 21.12.54.59 + 21.12.54.70 + 21.12.56.10 + 21.12.56.33 + 21.12.56.35 + 21.12.56.55 + 21.12.56.59 + 21.12.56.70 + 21.12.57.50

(1) Em 2000, o 20.10.10.31 é substituído pelo 20.10.10.32 e o 20.10.10.33 é substituído pelo 20.10.10.34.

(2) Em 2000, o 20.10.10.53 e o 20.10.10.59 são substituídos pelo 20.10.10.50 e o 20.10.10.57 e o 20.10.10.59 é substituído pelo 20.10.10.71.

(3) De 1996 a 1999, o 20.20.21.17 e o 20.20.21.19 foram substituídos pelo 20.20.21.18.

Anexo H

**Equivalências entre as categorias de produtos florestais finais
e as posições pautais das nomenclaturas de comércio
internacional do INE**

Nas Tabelas H.1 e H.2 são apresentadas as posições pautais correspondentes às obras de madeira e às obras de papel e cartão, consideradas nas várias classificações a que obedecem os dados de comércio internacional do INE (apresentadas no Anexo G).

As obras de madeira incluem a madeira perfilada que foi excluída da madeira serrada (ver Anexo G), tacos e frisos para soalho, portas, janelas, outra madeira usada na construção, embalagens (caixas, paletes, barris, etc.), utensílios ou suas partes, objectos de ornamentação, móveis, casas pré-fabricadas, etc. É de notar que dos móveis foram excluídos os assentos e outros móveis estofados, pelo facto de serem constituídos por outros materiais para além da madeira.

As obras de papel e cartão incluem papel obtido por colagem de folhas sobrepostas, papel de uso doméstico e sanitário pronto a usar, embalagens (caixas, sacos, etc.), papel de parede pronto a usar, papel de filtro pronto a usar, papel para cigarros pronto a usar, envelopes, papel de duplicação pronto a usar, etiquetas, calendários, cadernos, álbuns, livros, jornais, revistas, selos, cartões-postais, etc.

Tabela H.1 - Posições pautais das nomenclaturas a que obedecem os dados de comércio internacional do INE correspondentes às obras de madeira.

Nomenclatura	Período abrangido	Obras de madeira
Pauta Aduaneira de 1942 - Importação	1943-1950	52 + 797 + 798 + 799 + 800 + 801 + 802 + 803 + 803-A + 804
Pauta Aduaneira de 1942 - Exportação	1943-1950	991 + 992 + 993 + 994 + 995 + 996 + 1004 + 1006 + 1007 + 1010 + 1013
Pauta Aduaneira de 1950 - Importação	1951-1959	52 + 83-A + 797 + 798 + 799 + 800 + 801 + 802 + 803 + 803-A + 804
Pauta Aduaneira de 1950 - Exportação	1951-1959	991 + 992 + 993 + 994 + 995 + 1004 + 1005 + 1006 + 1007 + 1010 + 1013
Pauta Aduaneira de 1959 - Importação	1960-1965	4406 + 4408 + 4409 + 4410 + 4411 + 4413 + 4416 + 4417 + 4419 + 4420 + 4421 + 4422 + 4423 + 4424 + 4425 + 4426 + 4427 + 4428 + 940101 + 940103 + 940301 + 940303
Pauta Aduaneira de 1959 - Exportação	1960-1965	4406 + 4408 + 4409 + 4410 + 4411 + 4413 + 4416 + 4417 + 4419 + 4420 + 44210001 + 44210009 + 4422 + 4423 + 4424 + 4425 + 4426 + 4427 + 4428 + 940101 + 940103 + 940301 + 940303
CMCE	1966-1967	4406 + 4408 + 4409 + 4410 + 4411 + 4413 + 4416 + 4417 + 4419 + 4420 + 44210001 + 44210009 + 4422 + 4423 + 4424 + 4425 + 4426 + 4427 + 4428 + 940101 + 940103 + 940301 + 940303
CMCE	1968-1977	4406 + 4408 + 4409 + 4410 + 4411 + 4413 + 4416 + 4417 + 4419 + 4420 + 4421 + 4422 + 4423 + 4424 + 4425 + 4426 + 4427 + 4428 + 940101 + 940103 + 940301 + 940303
CMCE	1978-1982	44090109 + 44090201 + 44090209 + 4413 + 4416 + 4417 + 4419 + 4420 + 4421 + 4422 + 4423 + 4424 + 4425 + 4426 + 4427 + 4428 + 940101 + 940103 + 940301 + 940303
NEMCE	1983-1987	4409010 + 4409500 + 4409900 + 4413 + 4416 + 4417 + 4419 + 4420 + 4421 + 4422 + 4423 + 4424 + 4425 + 4426 + 4427 + 4428 + 9401410 + 9401450 + 9401930 + 9403150 + 9403511 + 9403515 + 9403551 + 9403555 + 9403570 + 9403610 + 9403610 + 9403630 + 9403650 + 9403660 + 9403670 + 9403690 + 9403829 + 9403950
Nomenclatura Combinada	1988-2000	4404 + 4409 + 4413 + 4414 + 4415 + 4416 + 4417 + 4418 + 4419 + 4420 + 4421 + 940169 + 94019030 + 940330 + 940340 + 940350 + 940360 + 94039030 + 94060010

Tabela H.2 - Posições pautais das nomenclaturas a que obedecem os dados de comércio internacional do INE correspondentes às obras de papel e cartão.

Nomenclatura	Período abrangido	Obras de papel e cartão
Pauta Aduaneira de 1942 - Importação	1943-1950	904 + 905 + 906 + 908 + 908-B + 909 + 909-A + 910 + 911 + 911-A + 913 + 914 + 914-A + 915 + 916 + 917 + 918 + 919 + 920 + 921 + 922 + 923 + 924 + 925 + 929 + 930 + 931 + 932 + 933 + 934 935 + 937 + 939
Pauta Aduaneira de 1942 - Exportação	1943-1950	1050 + 1153 + 1154 + 1155 + 1156 + 1157 + 1162
Pauta Aduaneira de 1950 - Importação	1951-1959	904 + 905 + 906 + 908 + 908-B + 909 + 909-A + 910 + 911 + 911-A + 912 + 912-A + 912-B + 913 + 913-A + 914 + 914-A + 915 + 916 + 917 + 918 + 919 + 920 + 921 + 921-A + 922 + 923 + 924 + 929 + 930 + 931 + 932 + 933 + 934 + 934-A + 934-C + 935 + 937 + 939 + 939-A
Pauta Aduaneira de 1950 - Exportação	1951-1959	1050 + 1153 + 1154 + 1155 + 1162
Pauta Aduaneira de 1959 - Importação e exportação	1960-1965	4804 + 4808 + 4810 + 4811 + 4812 + 4813 + 4814 + 4815 + 4816 + 4817 + 4818 + 4819 + 4820 + 4821 + 4901 + 4902 +4903 +4904 +4905 +4906 +4907 +4908 +4909 +4910 + 4911
CMCE	1966-1977	4804 + 4808 + 4810 + 4811 + 4812 + 4813 + 4814 + 4815 + 4816 + 4817 + 4818 + 4819 + 4820 + 4821 + 4901 + 4902 +4903 +4904 +4905 +4906 +4907 +4908 +4909 +4910 + 4911
CMCE	1978-1982	4804 + 4808 + 4810 + 4811 + 4812 + 4813 + 4814 + 4815 + 4816 + 4818 + 4819 + 4820 + 4821 + 4901 + 4902 +4903 +4904 +4905 +4906 +4907 +4908 +4909 +4910 + 4911
NEMCE	1983-1987	4804 + 4808 + 4810 + 4811 + 4812 + 4813 + 4814 + 4815 + 4816 + 4818 + 4819 + 4820 + 4821 + 4901 + 4902 +4903 +4904 +4905 +4906 +4907 +4908 +4909 +4910 + 4911
Nomenclatura Combinada	1988-2000	4807 + 4812 + 481310 + 481320 + 4814 + 4815 + 4816 + 4817 + 4818 + 4819 + 4820 + 4821 + 4822 + 4823 + 4901 + 4902 +4903 +4904 +4905 +4906 +4907 +4908 +4909 +4910 + 4911

Anexo I

Factores de conversão dos dados estatísticos do INE para unidades de volume

Tabela I.1 - Valores considerados para a massa volúmica usados na conversão dos dados de comércio internacional do INE para unidades de volume.

Madeira/Produto	Massa volúmica (Mg húmido m⁻³)	Fonte
Madeira em bruto para queima	0,80	DGF (1991)
Madeira industrial em bruto de resinosas	0,70	DGF (comunicação pessoal)
Madeira industrial em bruto de eucalipto	0,82	DGF (comunicação pessoal)
Madeira industrial em bruto de outras folhosas temperadas	0,806	DGF (comunicação pessoal)
Madeira industrial em bruto tropical	0,91	DGF (1991)
Outra madeira industrial agregada	0,75	DGF (1991)
Outra madeira industrial de resinosas	0,70	DGF (1991)
Outra madeira industrial de folhosas	0,80	DGF (1991)
Aparas e partículas	0,70	DGF (1991)
Resíduos de madeira	0,70	DGF (1991)
Madeira serrada de resinosas	0,55	FAO (1998), Eurostat (2000) e UNECE (2002)
Madeira serrada de folhosas	0,70	FAO (1998), Eurostat (2000) e UNECE (2002)
Travessas de caminho de ferro	0,78	FAO (1998) e UNECE (2002)
Folhas de madeira	0,75	FAO (1998), Eurostat (2000) e UNECE (2002)
Contraplacados	0,65	FAO (1998), Eurostat (2000) e UNECE (2002)
Painéis de partículas	0,65	FAO (1998), Eurostat (2000) e UNECE (2002)
Painéis de fibras duros	0,95	FAO (1998), Eurostat (2000) e UNECE (2002)
Painéis de fibras MDF	0,75	Indústria (comunicação pessoal)
Painéis de fibras isolantes	0,25	FAO (1998), Eurostat (2000) e UNECE (2002)
Obras de madeira	0,625	Valor igual ao da madeira serrada agregada (DGF, 1991; FAO, 1998; Eurostat, 2000; UNECE, 2002)

Tabela I.2 - Valores considerados para os factores de conversão usados para converter os dados de produção do INE para unidades de volume.

Madeira/Produto	Unidade reportada	Unidade pretendida	Factor de conversão	Fonte
Madeira em bruto para trituração de eucalipto	st	m ³	0,65	Celpa (comunicação pessoal)
Madeira em bruto para trituração de pinheiro	st	m ³	0,67	Celpa (comunicação pessoal)
Aparas e partículas de pinheiro	st	m ³	0,62	IPF (1983)
Madeira serrada: solhos	m ²	m ³	0,027	AIMMP (comunicação pessoal)
Madeira serrada: forros	m ²	m ³	0,15	AIMMP (comunicação pessoal)
Tacos e frisos	m ²	m ³	0,08	Santos (1986)
Folhas de madeira	m ²	m ³	0,015	AIMMP (comunicação pessoal)
Painéis de fibras duros	m ²	m ³	0,003	DGF (comunicação pessoal)
Painéis de fibras MDF	m ²	m ³	0,0155	DGF (comunicação pessoal)
Travessas de caminho de ferro	unidades	m ³	0,095	AIMMP (comunicação pessoal)

Anexo J

Comparação dos dados estatísticos de madeira e produtos florestais das várias fontes

J.1. Madeira em bruto

J.1.1. Madeira em bruto para queima

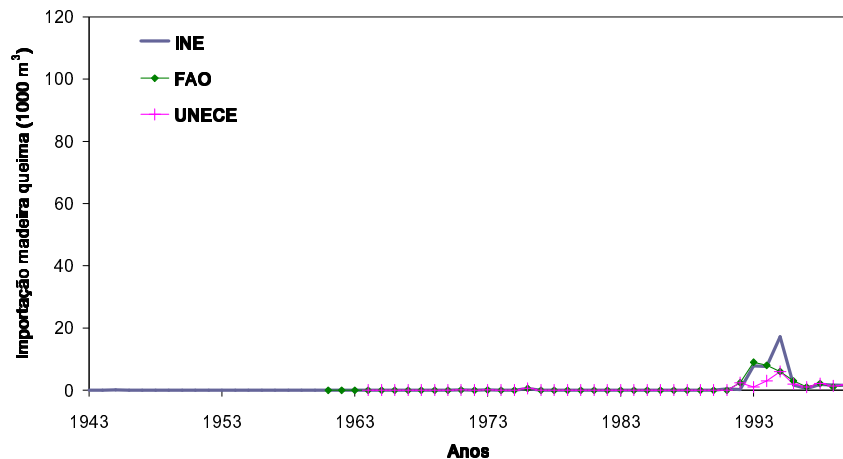


Figura J.1 - Importação de madeira em bruto para queima.

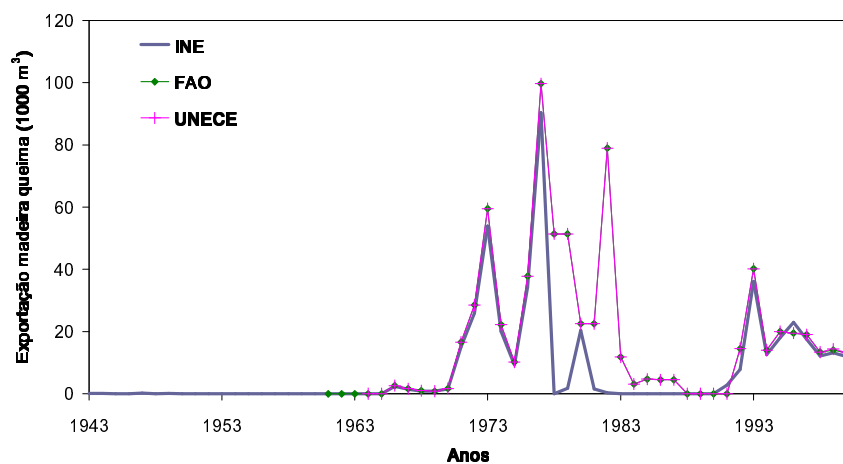


Figura J.2 - Exportação de madeira em bruto para queima.

Tabela J.1 - Fontes dos "melhores" dados disponíveis para a madeira em bruto para queima.

Fluxo	Período	Fonte dos "melhores" dados	Comentários
Importação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
Exportação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.

J.1.2. Madeira industrial em bruto

Para os dados do INE referentes à produção, importação e exportação de madeira industrial em bruto nem sempre foi possível efectuar uma distinção entre madeira de resinosas e de folhosas. Por esse motivo, são apresentados também os dados respeitantes à madeira industrial em bruto total.

Os dados de produção do INE foram calculados a partir dos consumos de madeira em bruto nacional reportados para as várias indústrias florestais nas “Estatísticas Industriais” e dos dados de exportação de madeira industrial em bruto. Para as restantes fontes, os dados de produção foram publicados como tal.

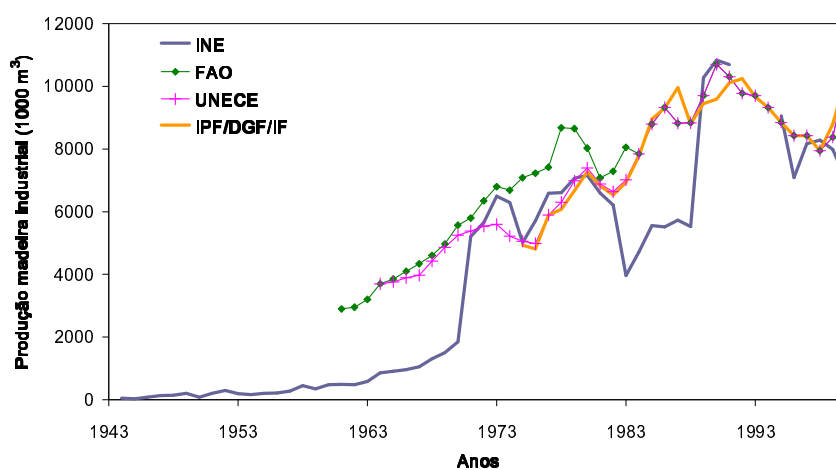


Figura J.3 - Produção de madeira industrial em bruto total.

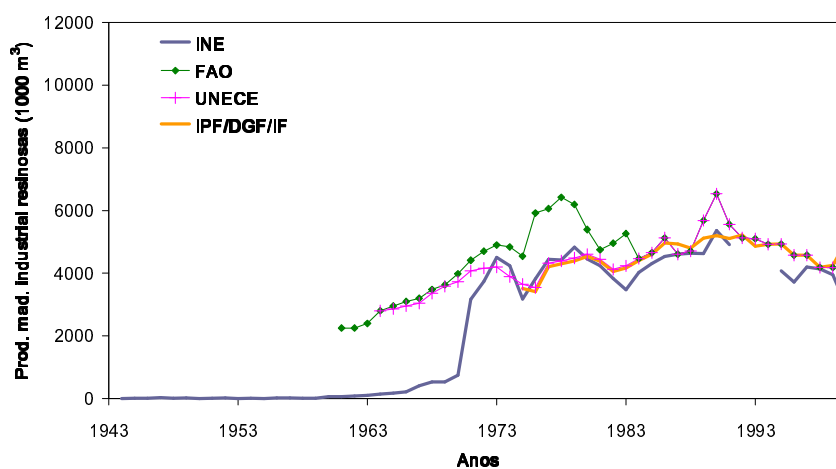


Figura J.4 - Produção de madeira industrial em bruto de resinosas.

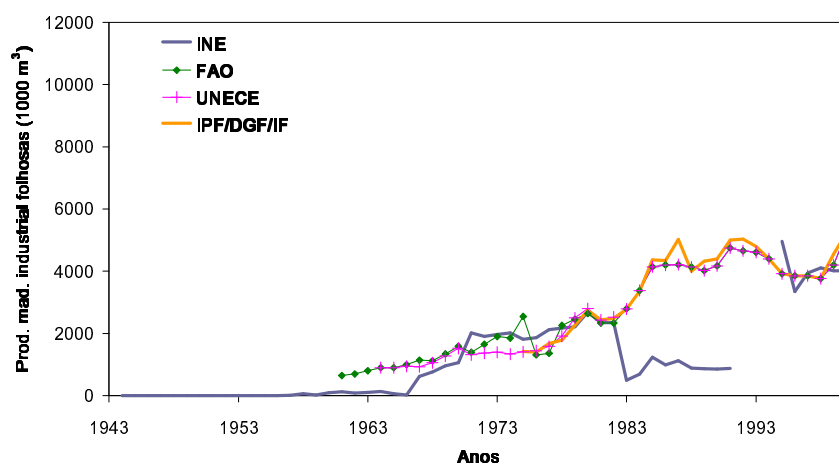


Figura J.5 - Produção de madeira industrial em bruto de folhosas.

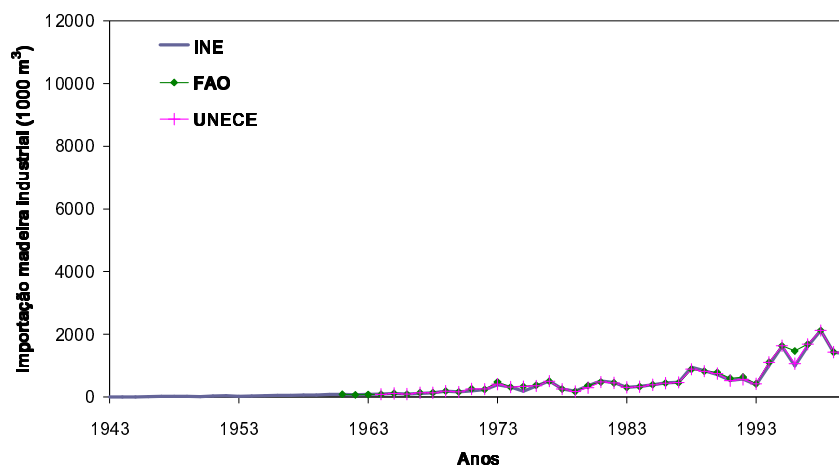


Figura J.6 - Importação de madeira industrial em bruto total.

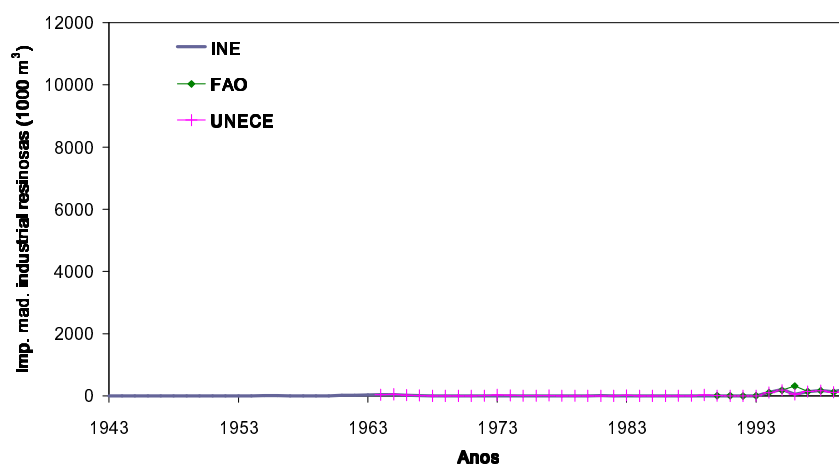


Figura J.7 - Importação de madeira industrial em bruto de resinosas.

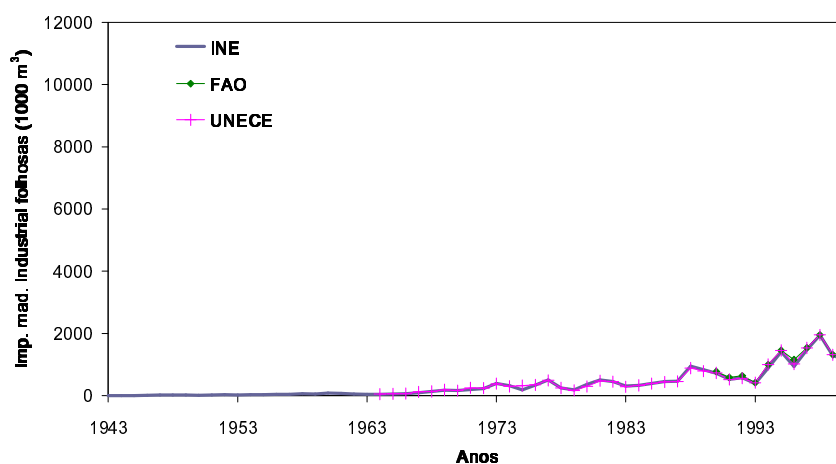


Figura J.8 - Importação de madeira industrial em bruto de folhosas.

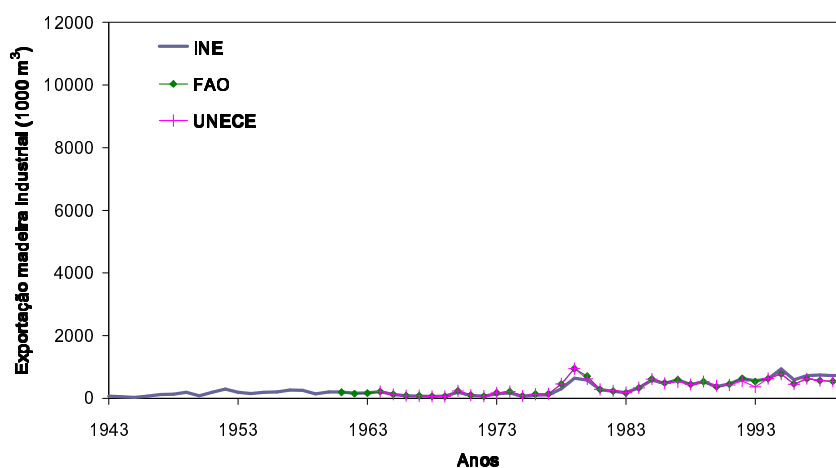


Figura J.9 - Exportação de madeira industrial em bruto total.

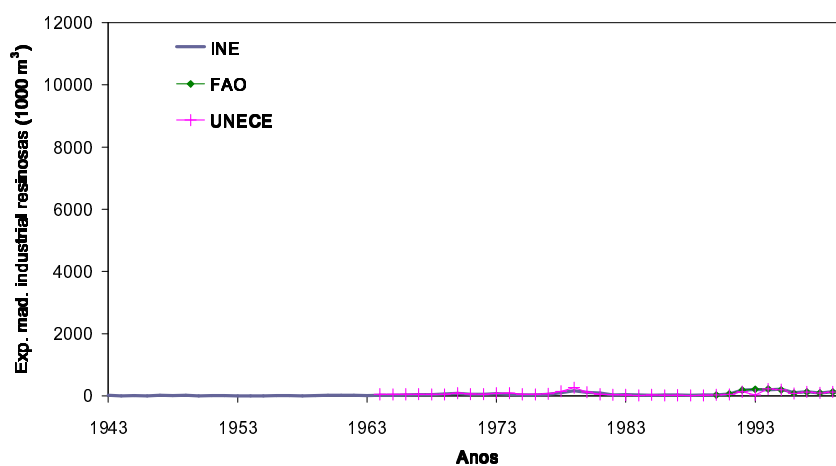


Figura J.10 - Exportação de madeira industrial em bruto de resinosas.

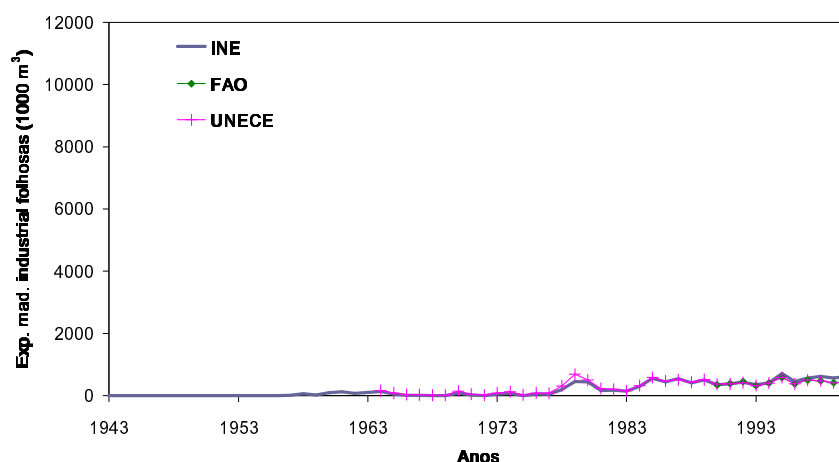


Figura J.11 - Exportação de madeira industrial em bruto de folhosas.

Tabela J.2 - Fontes dos "melhores" dados disponíveis para a madeira industrial em bruto.

Fluxo	Período	Fonte dos "melhores" dados	Comentários
Produção	1943-1960	Não disponível	Os dados do INE, apesar de serem mais transparentes que os dados das restantes fontes, são incompletos para a maior parte do período considerado. Com efeito, o consumo de madeira em bruto (a partir do qual foi estimada a produção de madeira industrial em bruto) durante a maior parte do período em análise foi reportado apenas para algumas das actividades que compõem a indústria florestal e/ou de forma incompleta (ver na Tabela J.3). Assim, até 1960, os dados do INE, os únicos disponíveis, são claramente incompletos, pelo que foram ignorados. De 1961 a 1963, para além do INE, apenas a FAO disponibilizou dados. Entre 1964 e 1974, foram seleccionados os dados da UNECE, pois os dados da FAO nos anos 70 e início dos anos 80 parecem demasiado elevados (principalmente os das resinosas). Os dados do INE nesse período, apesar de serem incompletos, são superiores aos da UNECE a partir do momento em que a madeira consumida nas serrações passou a ser considerada (principalmente nas folhosas). Contudo, nestes casos, os dados do INE são inconsistentes pois os consumos específicos de madeira na produção de pasta são exagerados e o consumo de madeira na produção de painéis de partículas e de fibras deve incluir também aparas e partículas e resíduos de madeira. De 1975 a 2000 foram escolhidos os dados do IPF/DGF/IF que, salvo algumas excepções, são semelhantes aos da UNECE e aos da madeira de folhosas da FAO, nesse período, e aos da madeira de resinosas da FAO a partir de 1984.
	1961-1963	FAO	
	1964-1974	UNECE	
	1975-2000	IPF/DGF/IF	
Importação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
Exportação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.

Tabela J.3 - Actividades com dados de consumo de madeira industrial em bruto disponíveis nas "Estatísticas Industriais" do INE.

Período	Actividade								
	Folhas	Contrap	Pasta	PPart	PFibras	Serra	Carp	Mobil	IMS
1943									
1944-1957									
1958-1959									
1960-1970									
1971-1975									
1976									
1977-1979									
1980-1982									
1983-1987									
1988									
1989									
1990-1991									
1992-1994									
1995-1998									
1999-2000									

Legenda:

Folhas: produção de folhas

Contrap: produção de contraplacados

Pasta: produção de pasta de madeira

PPart: produção de painéis de partículas

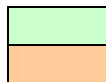
PFibras: produção de painéis de fibras

Serra: serração de madeira

Carp: carpintaria

Mobil: produção de mobiliário

IMS: indústria da madeira sólida



Existência de dados completos

Existência de dados incompletos

J.1.2.3. Outra madeira industrial

Para os dados do INE referentes à importação e exportação de outra madeira industrial nem sempre foi possível efectuar uma distinção entre madeira de resinosas e de folhosas. Por esse motivo, são apresentados também os dados respeitantes à outra madeira industrial total.

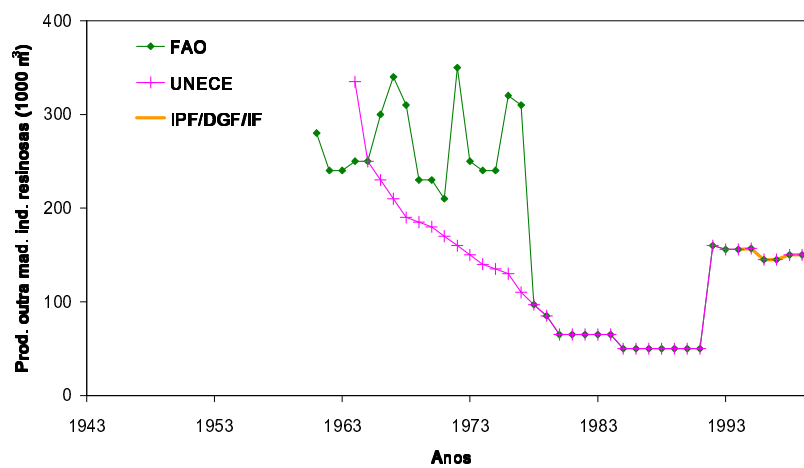


Figura J.12 - Produção de outra madeira industrial de resinosas.

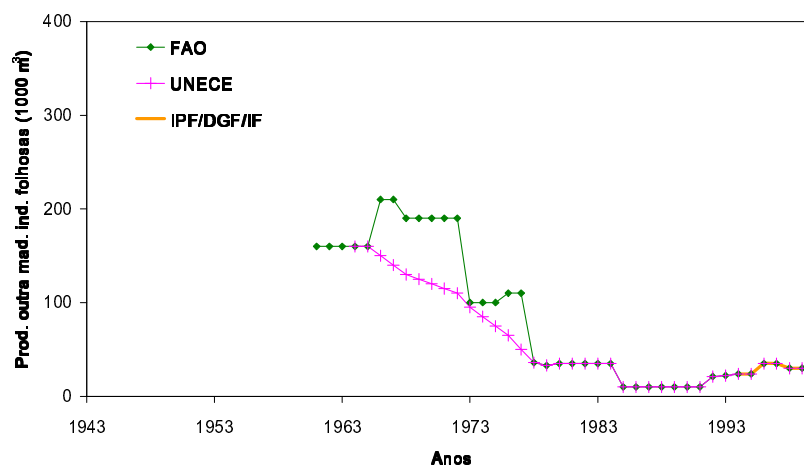


Figura J.13 - Produção de outra madeira industrial de folhosas.

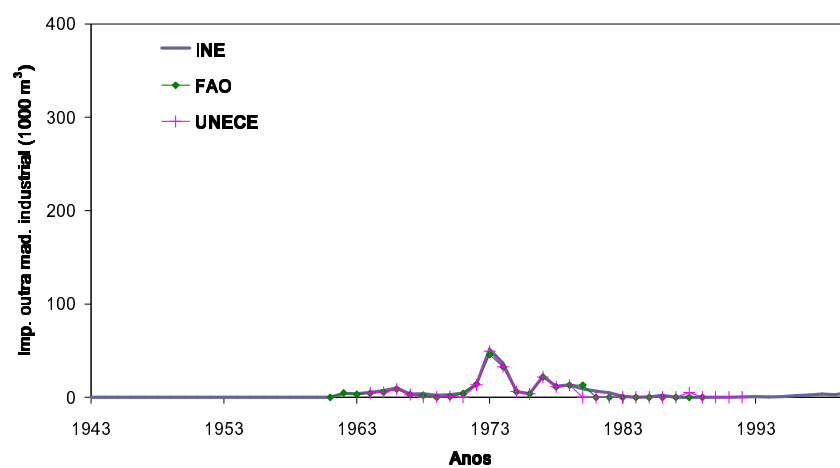


Figura J.14 - Importação de outra madeira industrial total.

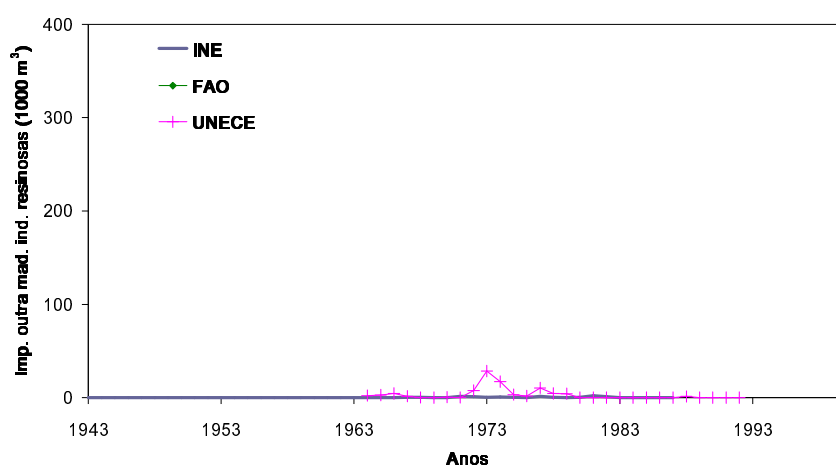


Figura J.15 - Importação de outra madeira industrial de resinosas.

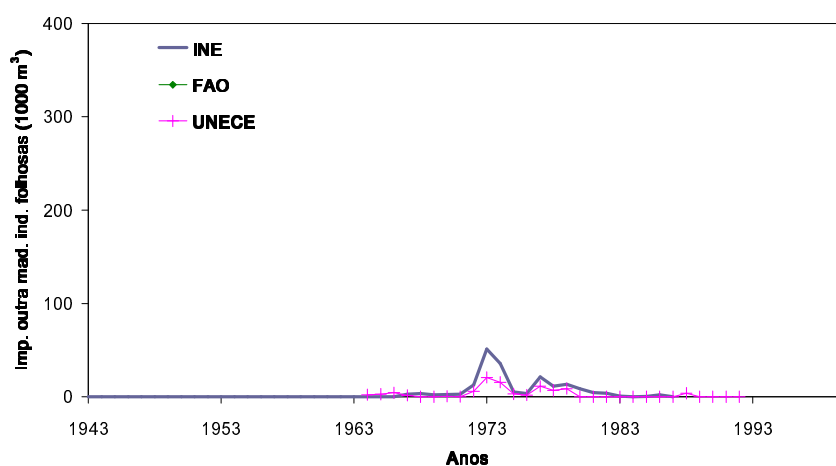


Figura J.16 - Importação de outra madeira industrial de folhosas.

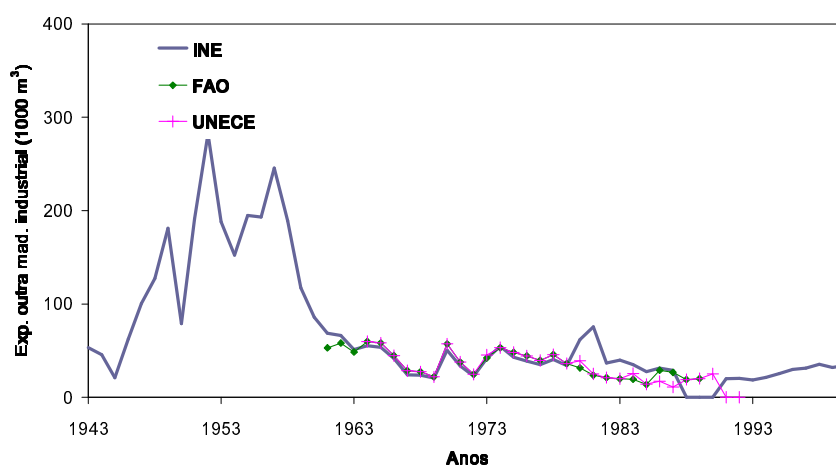


Figura J.17 - Exportação de outra madeira industrial total.

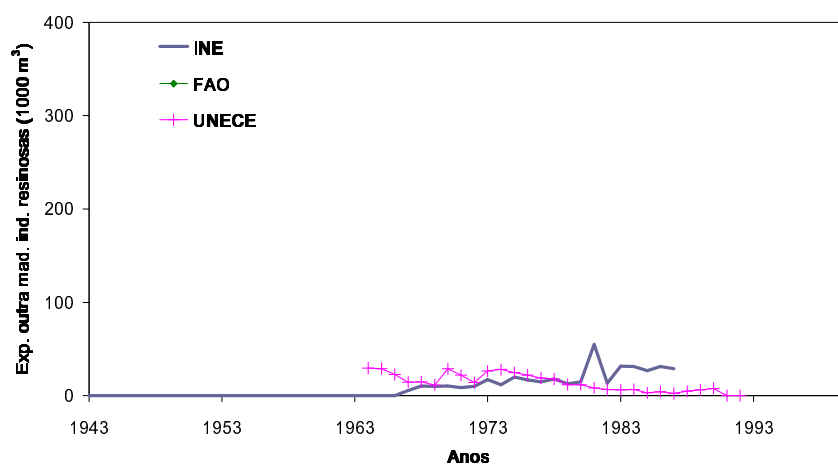


Figura J.18 - Exportação de outra madeira industrial de resinosas.

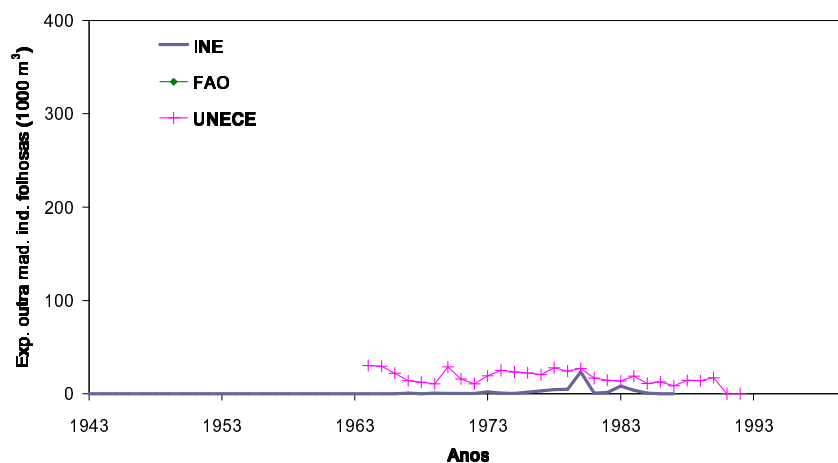


Figura J.19 - Exportação de outra madeira industrial de folhosas.

Tabela J.4 - Fontes dos "melhores" dados disponíveis para a outra madeira industrial.

Fluxo	Período	Fonte dos "melhores" dados	Comentários
Produção	1943-1960	Não disponível	De 1961 a 1963 apenas estão disponíveis os dados da FAO. A partir de 1964 foram escolhidos os dados da UNECE, que são iguais aos da FAO a partir de 1978 e aos do IPF/DGF/IF a partir de 1994. Os dados da FAO que diferem dos dados da UNECE foram rejeitados por uma questão de coerência com as opções tomadas na produção de madeira industrial em bruto.
	1961-1963	FAO	
	1964-2000	UNECE	
Importação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
Exportação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.

J.2. Aparas e partículas

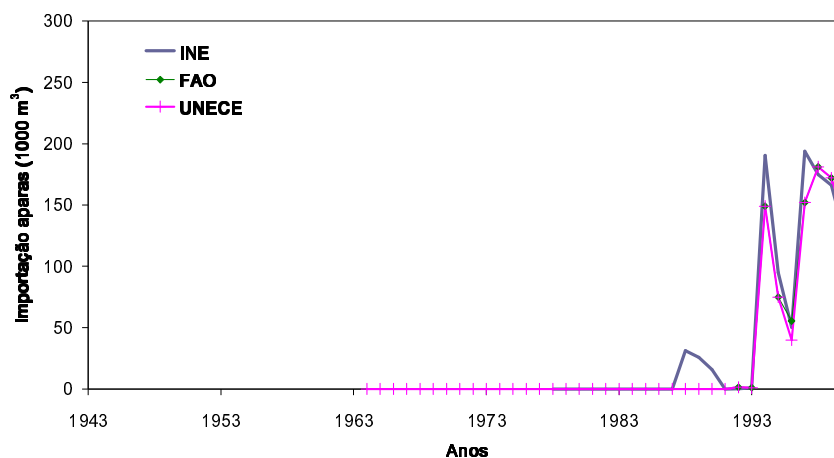


Figura J.20 - Importação de aparas e partículas.

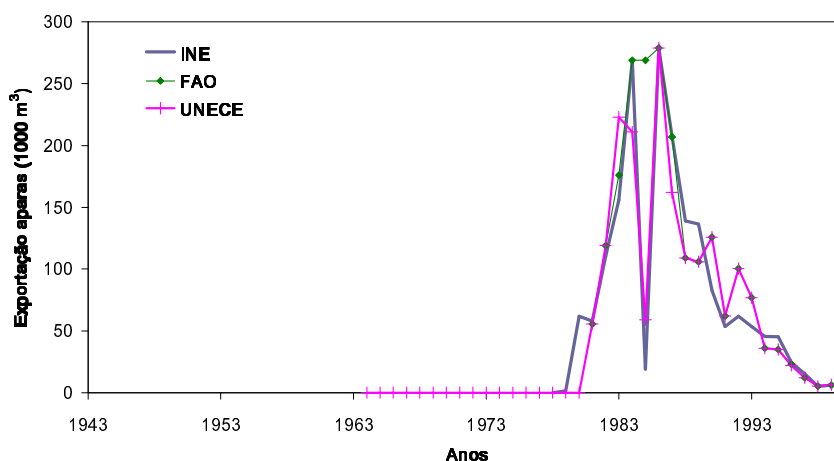


Figura J.21 - Exportação de aparas e partículas.

Tabela J.5 - Fontes dos "melhores" dados disponíveis para as aparas e partículas.

Fluxo	Período	Fonte dos "melhores" dados	Comentários
Importação	1943-1963	Não disponível	De 1964 a 1977 apenas estão disponíveis os dados da UNECE. A partir de 1978 foram preferidos os dados do INE por serem completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
	1964-1977	UNECE	
	1978-2000	INE	
Exportação	1943-1963	Não disponível	De 1964 a 1977 apenas estão disponíveis os dados da UNECE. A partir de 1978 foram preferidos os dados do INE por serem completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
	1964-1977	UNECE	
	1978-2000	INE	

J.3. Resíduos de madeira

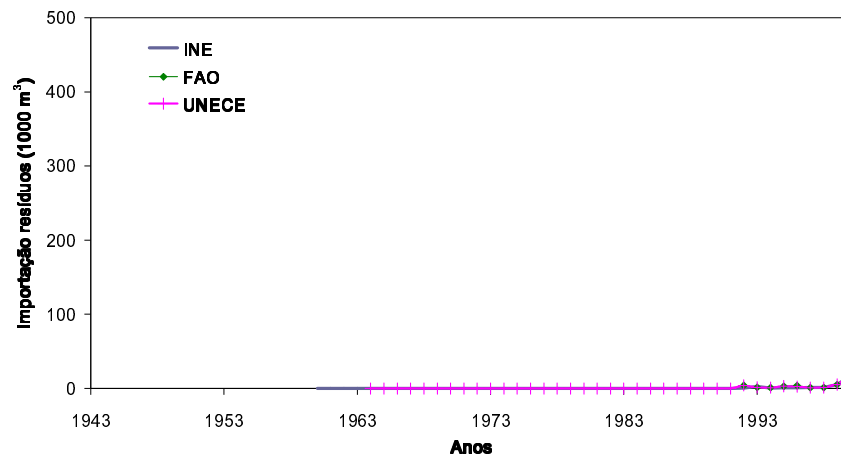


Figura J.22 - Importação de resíduos de madeira.

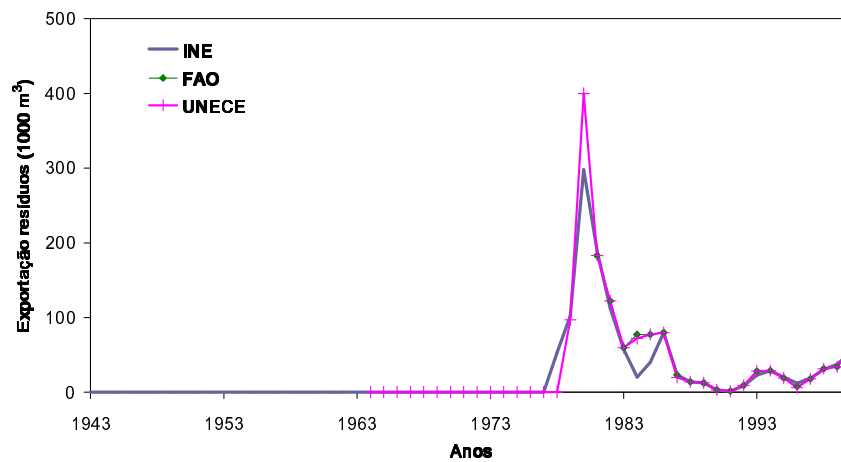


Figura J.23 - Exportação de resíduos de madeira.

Tabela J.6 - Fontes dos "melhores" dados disponíveis para os resíduos de madeira.

Fluxo	Período	Fonte dos "melhores" dados	Comentários
Importação	1943-1959	Não disponível	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
	1960-2000	INE	
Exportação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.

J.4. Madeira serrada

Para os dados de produção do INE e os dados de produção e importação do IPF/DGF/IF nem sempre foi possível efectuar uma distinção entre madeira de resinosas, de folhosas e travessas de caminho de ferro. Além disso, os dados de produção, importação e exportação da FAO integram as travessas de caminho de ferro nos subtotais de resinosas e de folhosas. Por estes motivos, são apresentados também os dados respeitantes à madeira serrada total.

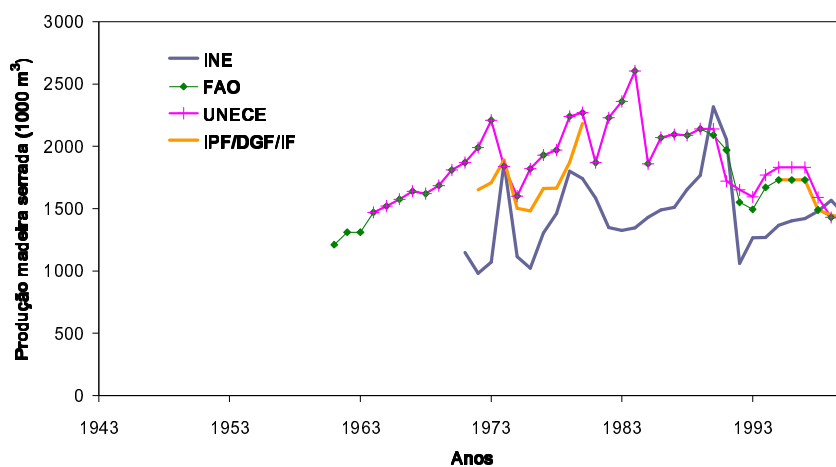


Figura J.24 - Produção de madeira serrada total.

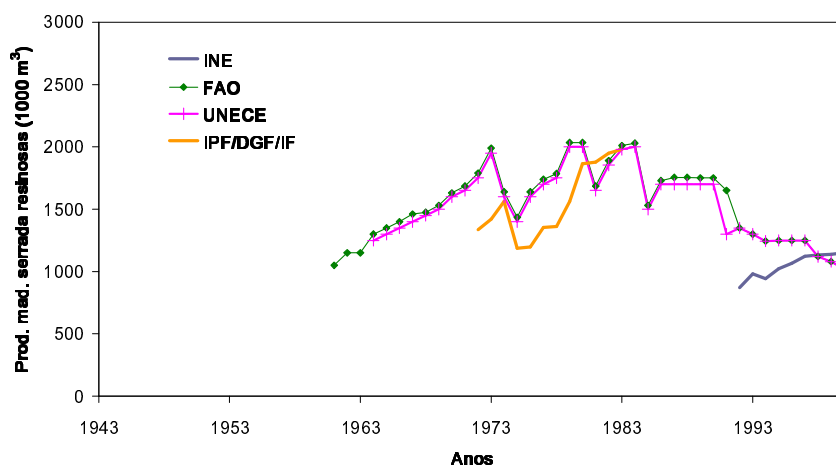


Figura J.25 - Produção de madeira serrada de resinosas.

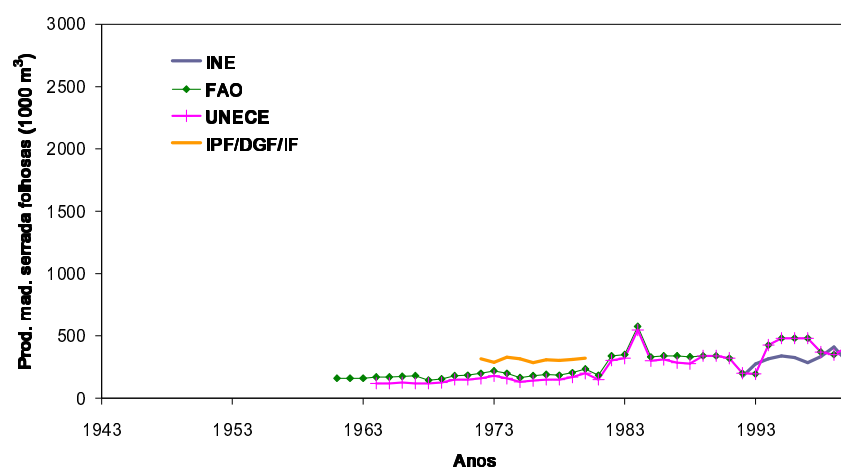


Figura J.26 - Produção de madeira serrada de folhosas.

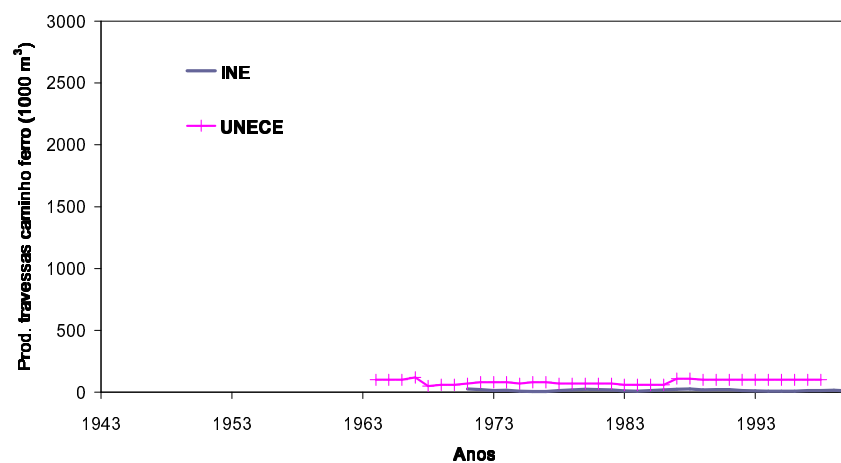


Figura J.27 - Produção de travessas de caminho de ferro.

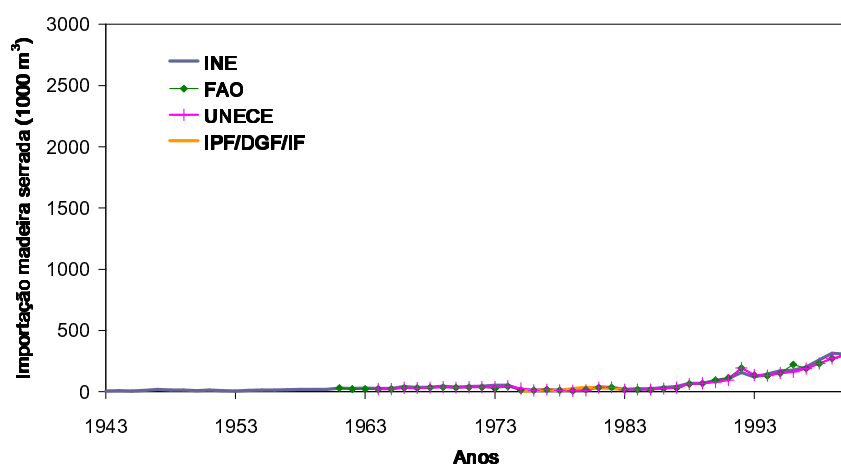


Figura J.28 - Importação de madeira serrada total.

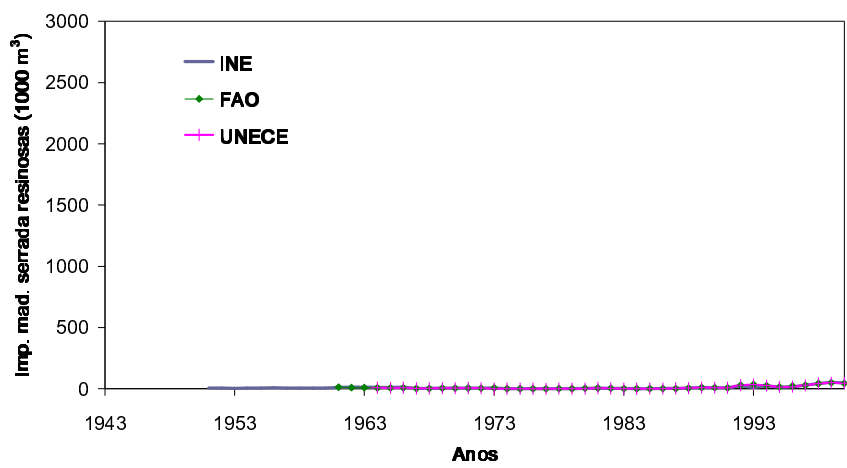


Figura J.29 - Importação de madeira serrada de resinosas.

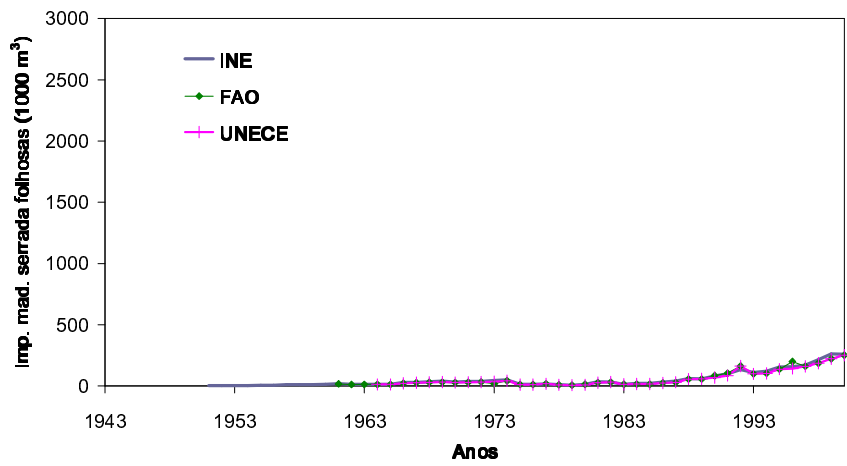


Figura J.30 - Importação de madeira serrada de folhosas.

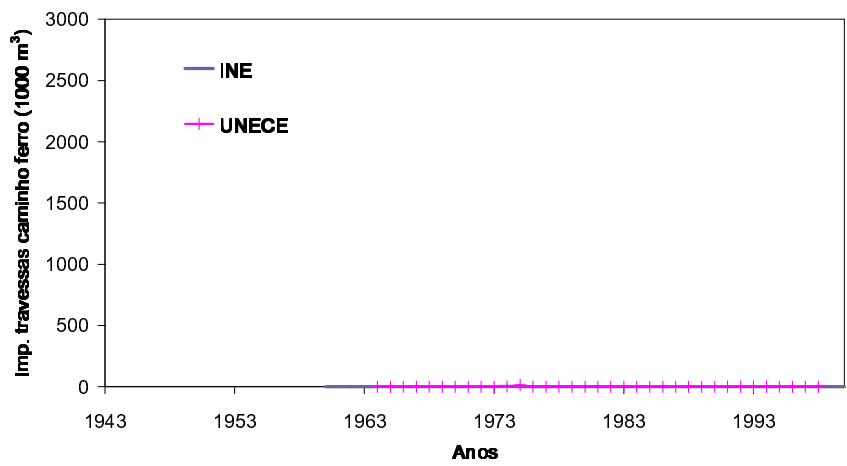


Figura J.31 - Importação de travessas de caminho de ferro.

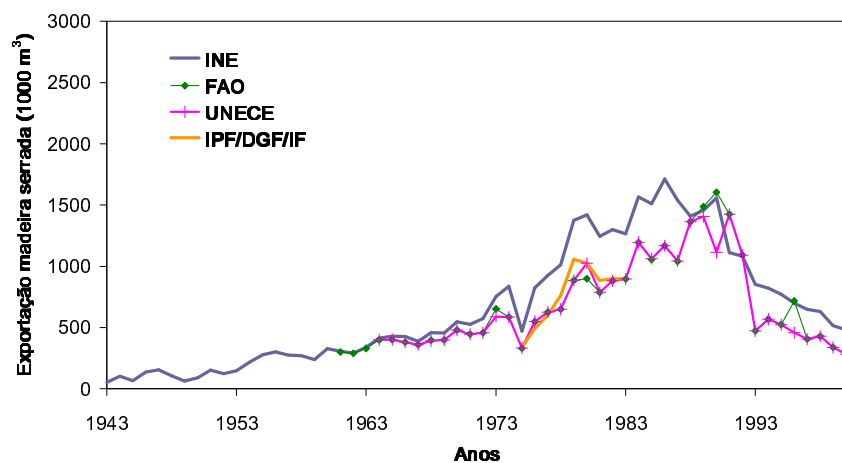


Figura J.32 - Exportação de madeira serrada total.

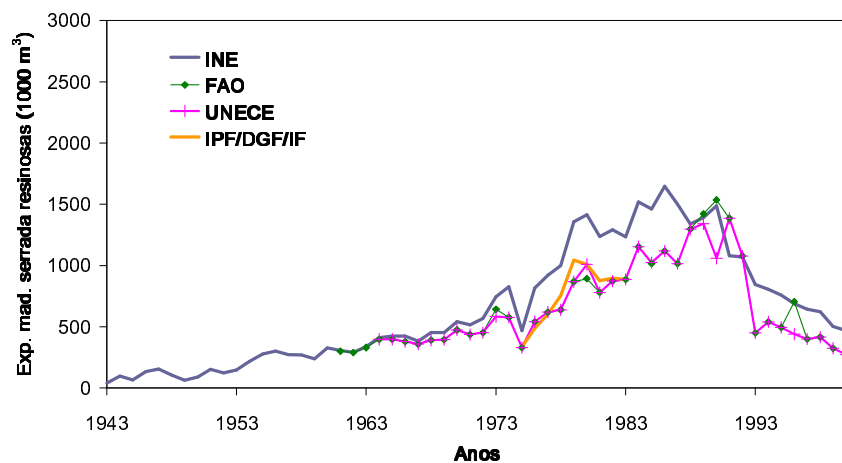


Figura J.33 - Exportação de madeira serrada de resinosas.

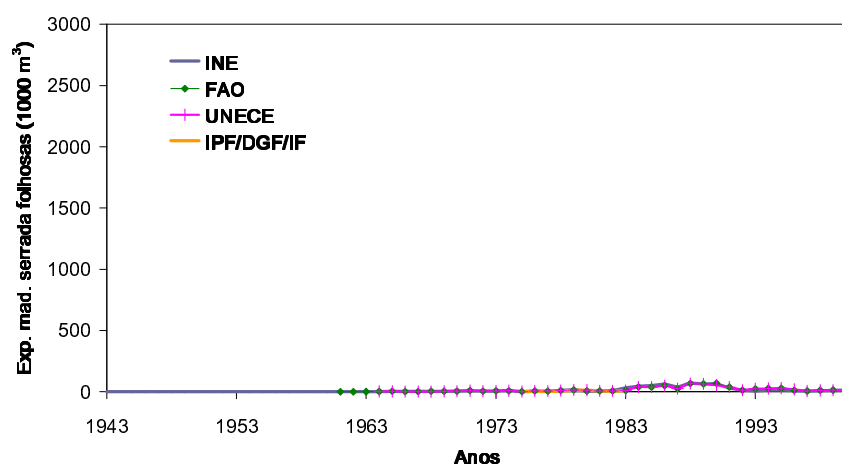


Figura J.34 - Exportação de madeira serrada de folhosas.

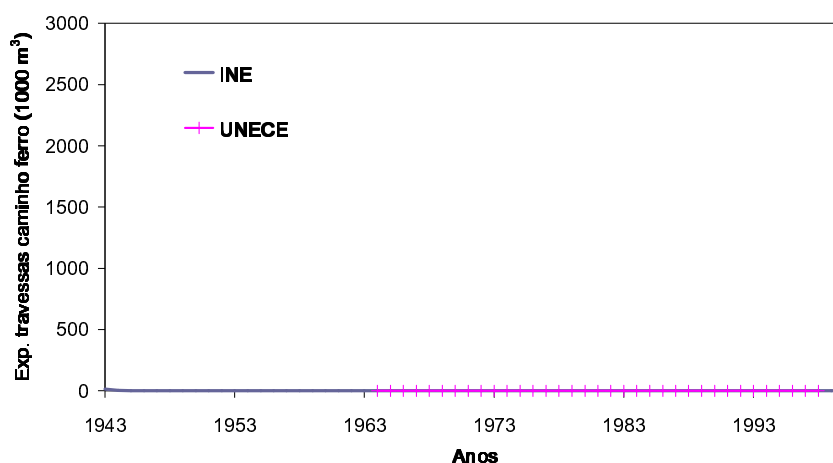


Figura J.35 - Exportação de travessas de caminho de ferro.

Tabela J.7 - Fontes dos "melhores" dados disponíveis para a madeira serrada.

Fluxo	Período	Fonte dos "melhores" dados	Comentários
Produção	1943-1960	Não disponível	Os dados do INE, apesar de serem mais transparentes que os dados das restantes fontes, são incompletos para a maior parte do período considerado e apresentam valores confidenciais. Com efeito, num estudo realizado pelo IPF nos anos 80 (IPF, 1983) é referido que "a série obtida pela adição da produção dos sectores inquiridos pelo INE (serração, carpintaria, mobiliário, tanoaria e fósforos) é manifestamente incompleta nos anos mais atrasados, não existe com carácter sistemático para trás de 1976 e mesmo nos anos disponíveis não cobre o universo, em particular nas três primeiras indústrias citadas". Além disso, são inconsistentes para alguns anos, na medida em que originam consumos negativos. De 1961 a 1963, para além do INE, apenas a FAO disponibilizou dados. Entre 1964 e 2000, foram seleccionados os dados da UNECE que, de um modo geral, são semelhantes aos dados da FAO (e do IPF/DGF/IF a partir de 1995), com a vantagem de apresentarem separadamente os dados relativos às travessas de caminho de ferro. Os dados do IPF/DGF/IF dos anos 70/80 foram rejeitados por se tratarem de dados estimados a partir dos consumos de madeira serrada reportados nas estatísticas do INE nas várias actividades que a transformam e a partir da representatividade dos custos da madeira serrada nos custos totais da indústria de construção civil (IPF, 1983).
	1961-1963	FAO	
	1964-2000	UNECE	
Importação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
Exportação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.

J.5. Painéis de madeira

J.5.1. Folhas de madeira

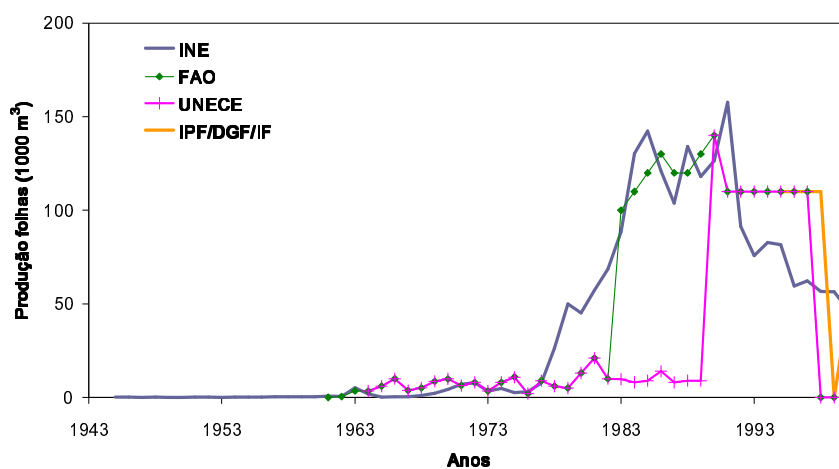


Figura J.36 - Produção de folhas de madeira.

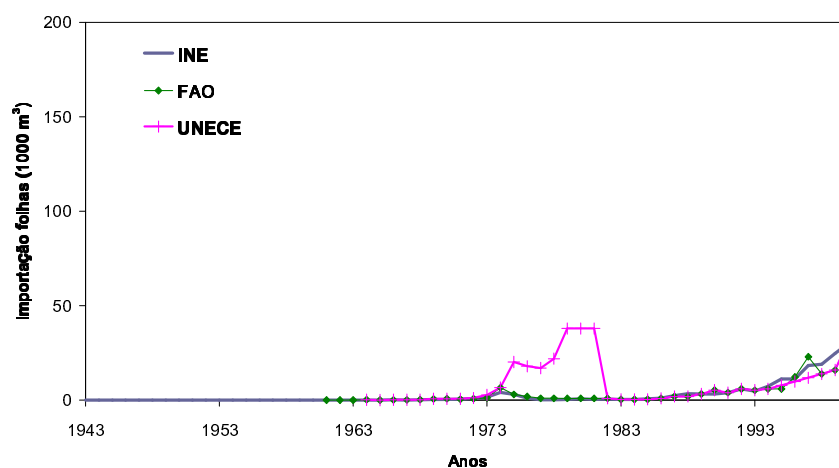


Figura J.37 - Importação de folhas de madeira.

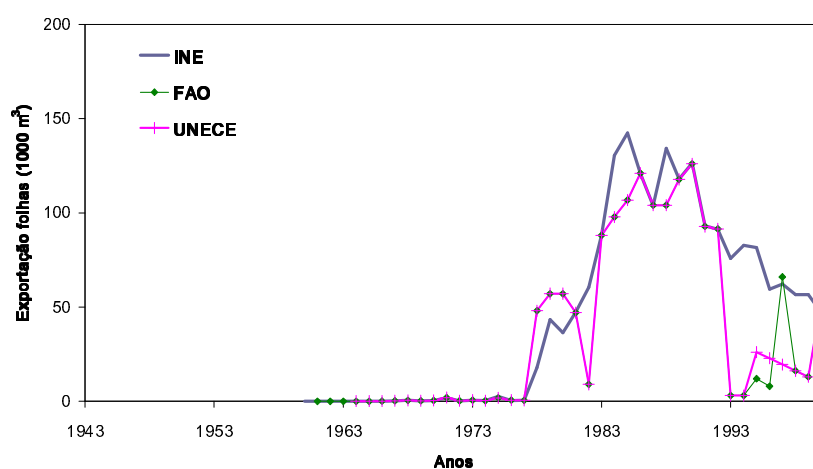
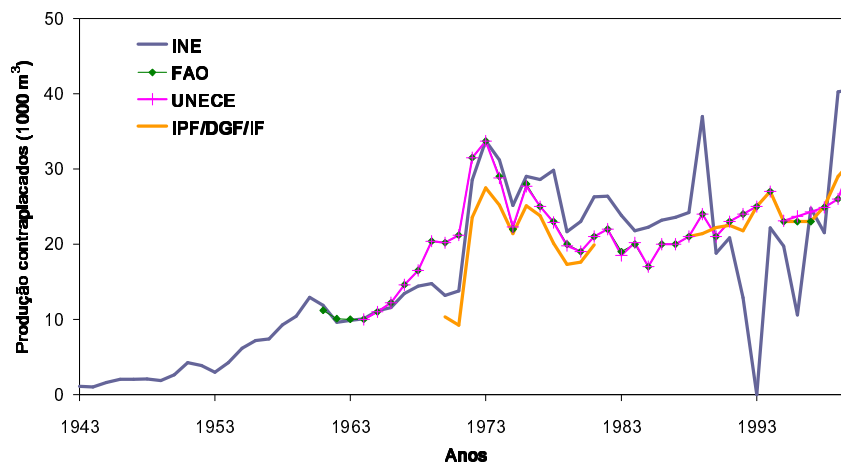


Figura J.38 - Exportação de folhas de madeira.

Tabela J.8 - Fontes dos “melhores” dados disponíveis para as folhas de madeira.

Fluxo	Período	Fonte dos “melhores” dados	Comentários
Produção	1943-1944	Não disponível	De 1945 a 1960 apenas existem os dados do INE. Nos restantes anos foram preferidos os dados do INE pois grande parte dos dados das outras fontes é inconsistente. Assim, entre 1964 e 1970, os dados da FAO e da UNECE devem incluir folhas integradas na produção de contraplacados, que foram excluídas dos dados do INE. Por outro lado, entre 1978 e 2000, os dados da FAO, UNECE e IPF/DGF/IF são na sua maioria estimados e originam alguns valores de consumo de folhas negativos. Os dados do INE, apesar de entre 1978 e 2000 serem estimados a partir dos dados de consumo e de comércio de folhas (porque os dados de produção reportados são incompletos), são mais transparentes do que os das restantes fontes, além de que não originam valores de consumos negativos.
	1945-2000	INE	
Importação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
Exportação	1943-1959	Não disponível	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
	1960-2000	INE	

J.5.2. Contraplacados

**Figura J.39 - Produção de contraplacados.**

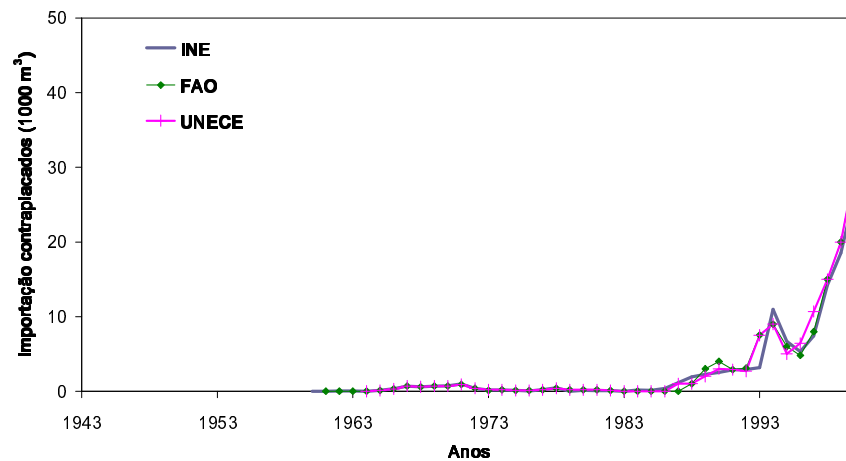


Figura J.40 - Importação de contraplacados.

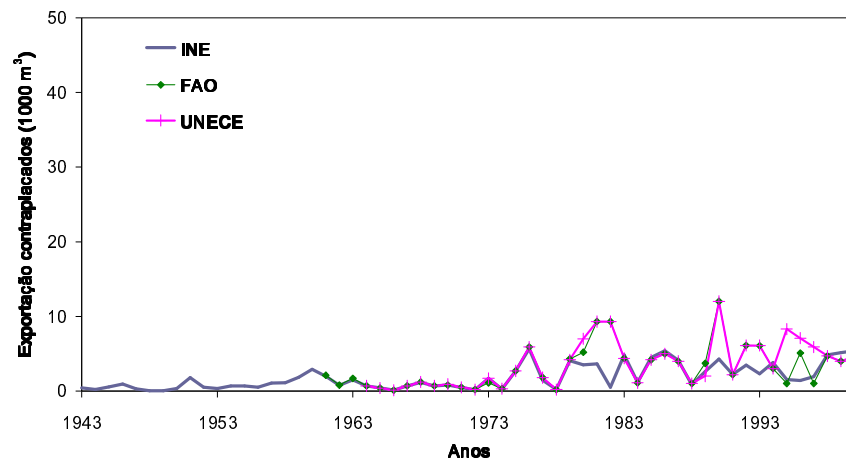


Figura J.41 - Exportação de contraplacados.

Tabela J.9 - Fontes dos "melhores" dados disponíveis para os contraplacados.

Fluxo	Período	Fonte dos "melhores" dados	Comentários
Produção	1943-1991	INE	De 1943 a 1960 apenas existem os dados do INE. Entre 1961 e 1991 foram preferidos os dados do INE por serem mais transparentes que os dados da FAO e da UNECE e mais completos que os dados do IPF/DGF/IF. Entre 1992 e 1998, os dados do INE são incompletos (apresentam valores confidenciais) pelo que foram preferidos os dados do IPF/DGF/IF (são semelhantes aos da FAO e UNECE). Em 1999 e 2000 foram usados os dados do INE por serem mais transparentes que os outros.
	1992-1998	IPF/DGF/IF	
	1999-2000	INE	
Importação	1943-1959	Não disponível	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
	1960-2000	INE	
Exportação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.

J.5.3. Painéis de partículas

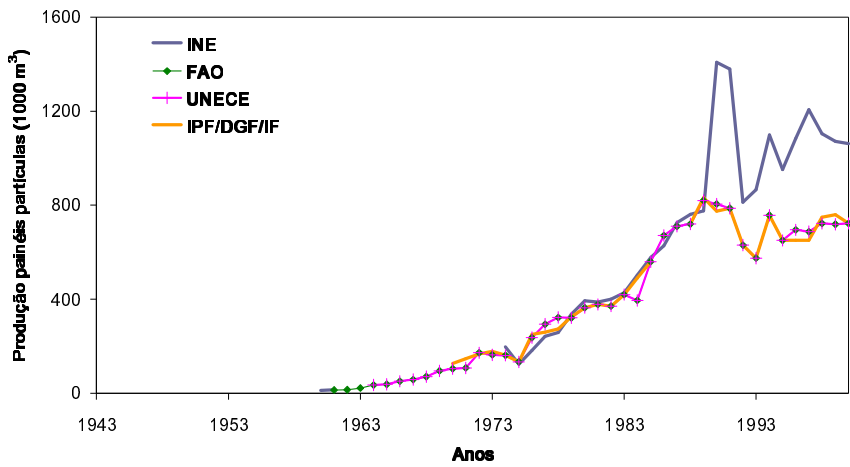


Figura J.42 - Produção de painéis de partículas.

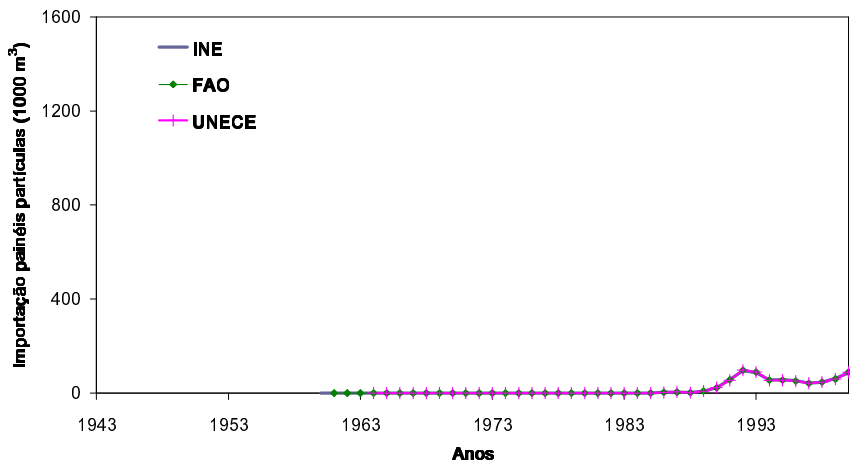


Figura J.43 - Importação de painéis de partículas.

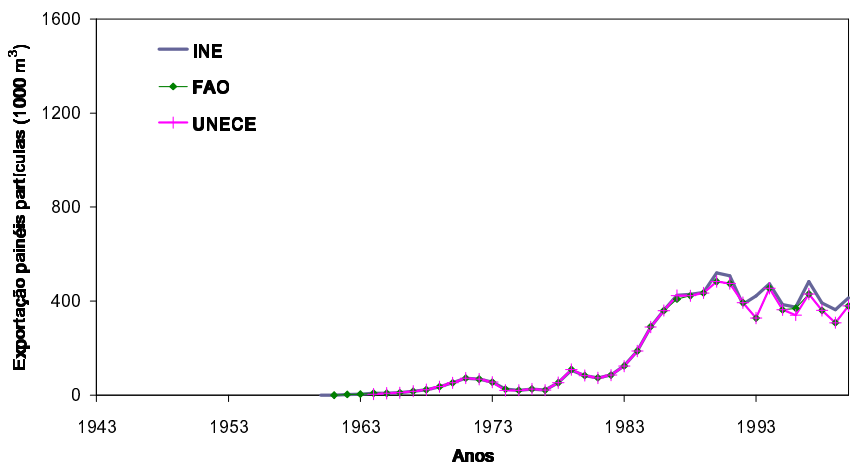


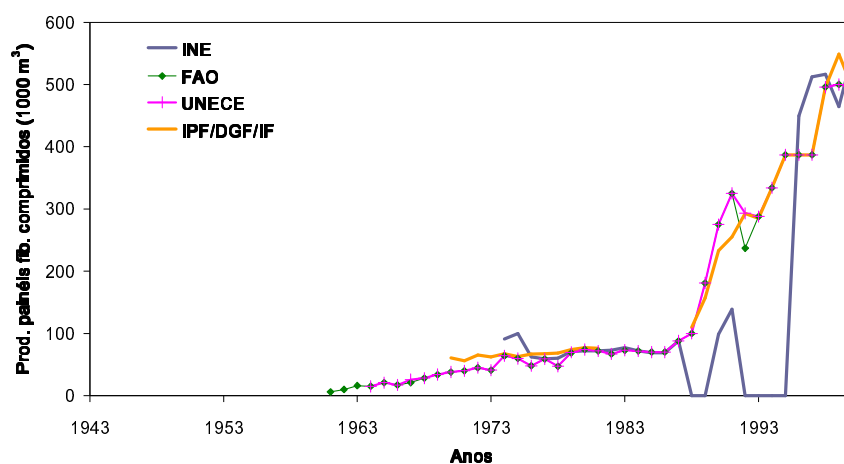
Figura J.44 - Exportação de painéis de partículas.

Tabela J.10 - Fontes dos "melhores" dados disponíveis para os painéis de partículas.

Fluxo	Período	Fonte dos "melhores" dados	Comentários
Produção	1943-1959	Não disponível	Em 1960 apenas o INE disponibiliza dados. Em 1961 foram usados os dados do INE, que são semelhantes aos da FAO. De 1962 a 1969 foram usados os dados da FAO, que são iguais aos da UNECE. Entre 1970 e 1973 foram preferidos os dados do IPF/DGF/IF por serem mais transparentes que os da FAO e da UNECE. De 1974 a 1989 e de 1992 a 2000 foram usados os dados do INE por serem completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes. Em 1990 e 1991 foram preferidos os dados do IPF/DGF/IF (são semelhantes aos da FAO e UNECE), uma vez que os dados do INE são inconsistentes (com as produções de painéis e os consumos de madeira reportados pelo INE, os consumos específicos de madeira são demasiado elevados).
	1960-1961	INE	
	1962-1969	FAO	
	1970-1973	IPF/DGF/IF	
	1974-1989	INE	
	1990-1991	IPF/DGF/IF	
	1992-2000	INE	
Importação	1943-1959	Não disponível	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
	1960-2000	INE	
Exportação	1943-1959	Não disponível	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
	1960-2000	INE	

J.5.4. Painéis de fibras

Para os dados de produção, importação e exportação da FAO e os dados de produção do INE nem sempre foi possível separar os painéis comprimidos em duros e MDF. Por esse motivo, são apresentados também os dados respeitantes ao total de painéis comprimidos.

**Figura J.45 - Produção de painéis de fibras comprimidos.**

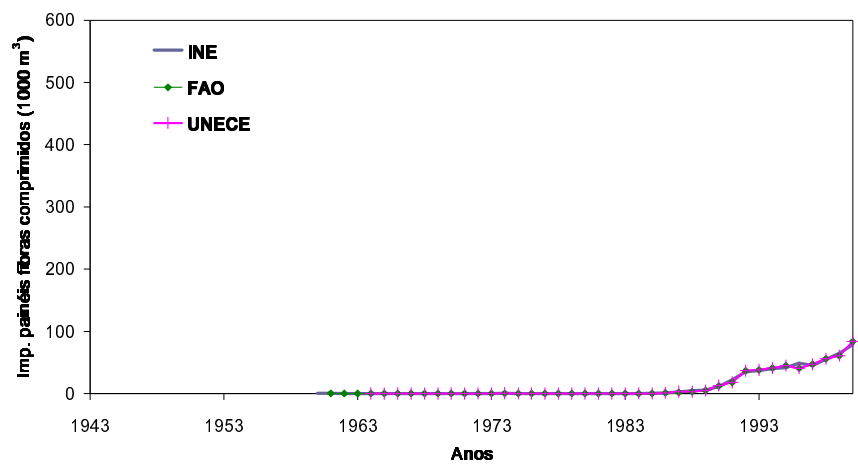


Figura J.46 - Importação de painéis de fibras comprimidos.

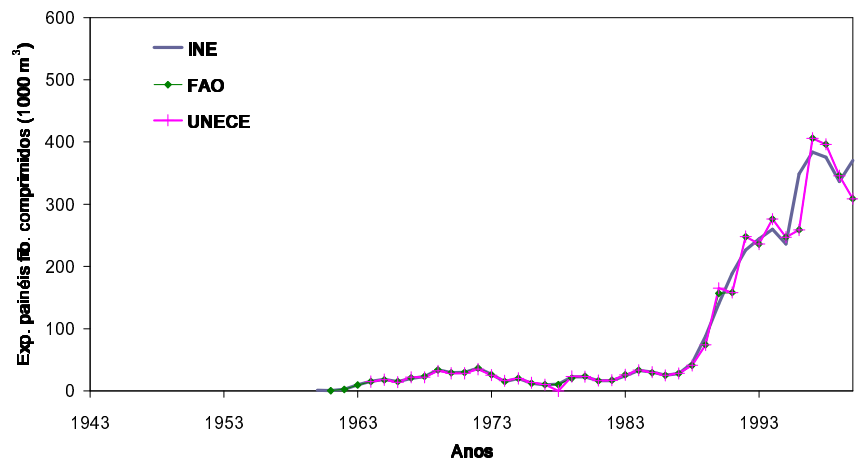


Figura J.47 - Exportação de painéis de fibras comprimidos.

J.5.4.1. Painéis de fibras duros

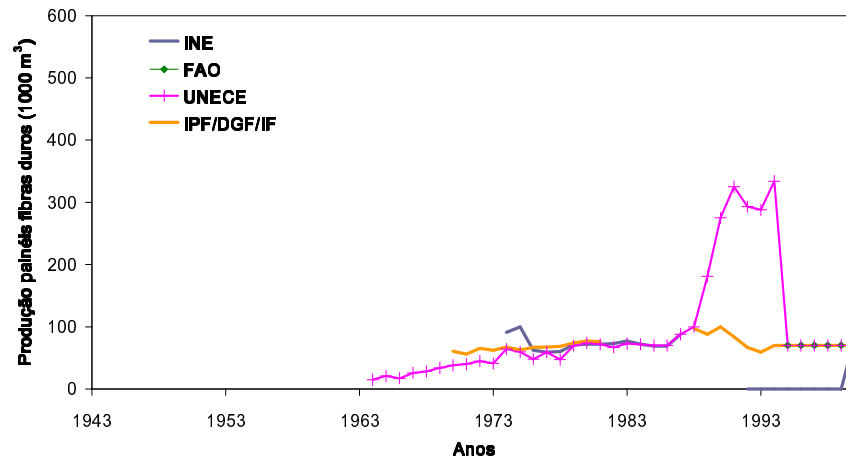


Figura J.48 - Produção de painéis de fibras duros.

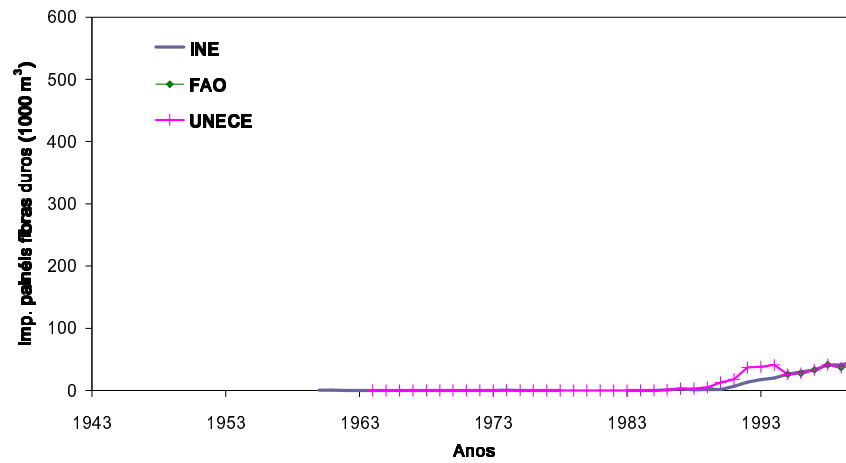


Figura J.49 - Importação de painéis de fibras duros.

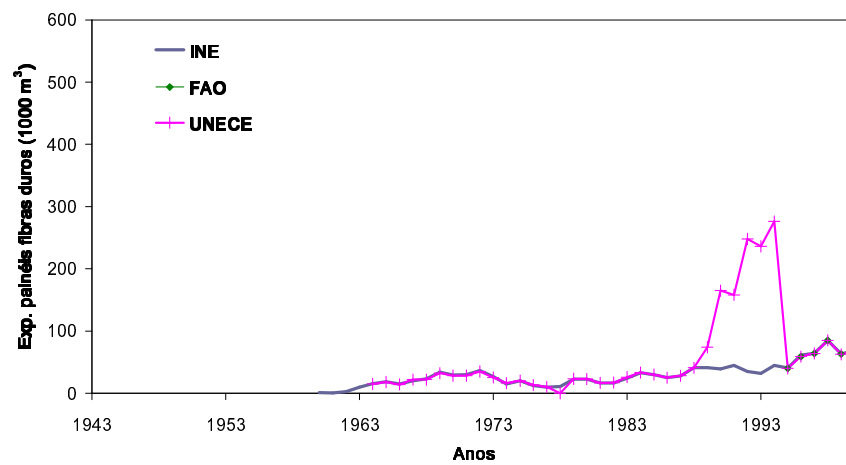
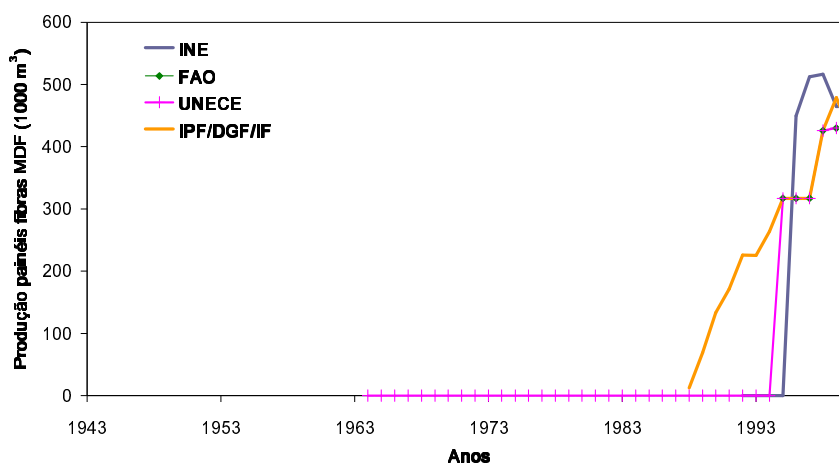


Figura J.50 - Exportação de painéis de fibras duros.

Tabela J.11 - Fontes dos "melhores" dados disponíveis para os painéis de fibras duros.

Fluxo	Período	Fonte dos "melhores" dados	Comentários
Produção	1943-1960	Não disponível	De 1961 a 1963 apenas a FAO disponibiliza dados e foi considerado que os painéis comprimidos são duros. De 1964 a 1969 foram usados os dados da UNECE, a única fonte de dados de painéis duros nesse período. De 1970 a 1975 foram preferidos os dados do IPF/DGF/IF por serem mais transparentes que os da UNECE e mais consistentes que os do INE (em 1974 e 1975 o INE reportou valores bastante superiores à capacidade de produção instalada na época). De 1976 a 1987 foram usados os dados do INE por serem completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes. A partir de 1988 foram preferidos os dados do IPF/DGF/IF, porque os dados da UNECE são exagerados de 1989 a 1994 e os dados do INE são confidenciais (excepto no ano 2000 em que foram estimados pois foram reportados em unidades de área).
	1961-1963	FAO	
	1964-1969	UNECE	
	1970-1975	IPF/DGF/IF	
	1976-1987	INE	
	1988-2000	IPF/DGF/IF	
Importação	1943-1959	Não disponível	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
	1960-2000	INE	
Exportação	1943-1959	Não disponível	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
	1960-2000	INE	

J.5.4.2. Painéis MDF

**Figura J.51 - Produção de painéis de fibras MDF.**

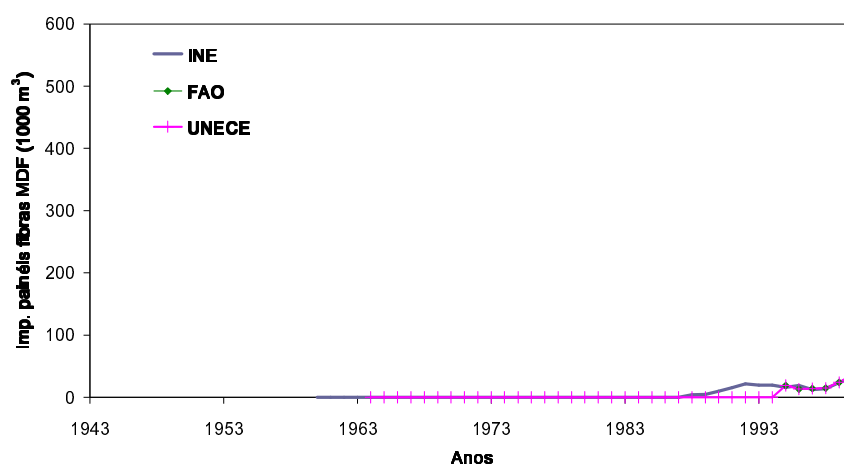


Figura J.52 - Importação de painéis de fibras MDF.

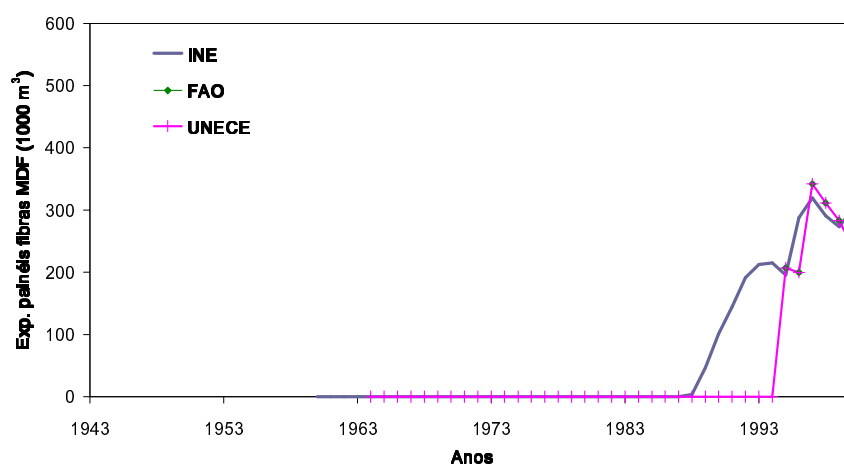


Figura J.53 - Exportação de painéis de fibras MDF.

Tabela J.12 - Fontes dos "melhores" dados disponíveis para os painéis de fibras MDF.

Fluxo	Período	Fonte dos "melhores" dados	Comentários
Produção	1943-1963	Não disponível	De 1964 a 1987 apenas a UNECE disponibiliza dados (durante este período não houve produção de MDF). De 1988 a 1995 os dados do IPF/DGF/IF são mais correctos que os da UNECE (não reflectem o início da produção de MDF em 1988) e os do INE (são confidenciais). Em 1996 e 1997 foram preferidos os dados do INE, apesar de terem sido estimados (foram reportados em unidades de área), já que os dados do IPF/DGF/IF e da UNECE são também estimados e originam quebras no consumo de MDF bastante acentuadas. A partir de 1998 foram usados os dados do IPF/DGF/IF pois os dados do INE foram estimados (foram reportados em unidades de área).
	1964-1987	UNECE	
	1988-1995	IPF/DGF/IF	
	1996-1997	INE	
	1998-2000	IPF/DGF/IF	
Importação	1943-1959	Não dispon.	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
	1960-2000	INE	
Exportação	1943-1959	Não dispon.	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
	1960-2000	INE	

J.5.4.3. Painéis isolantes

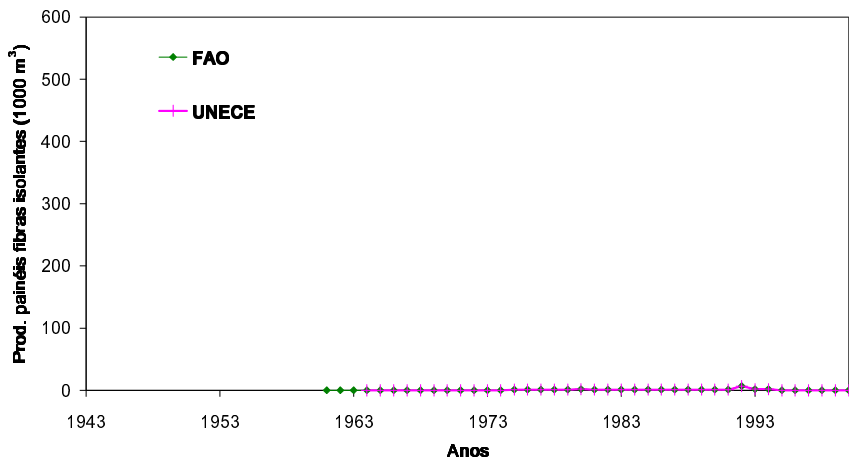


Figura J.54 - Produção de painéis de fibras isolantes.

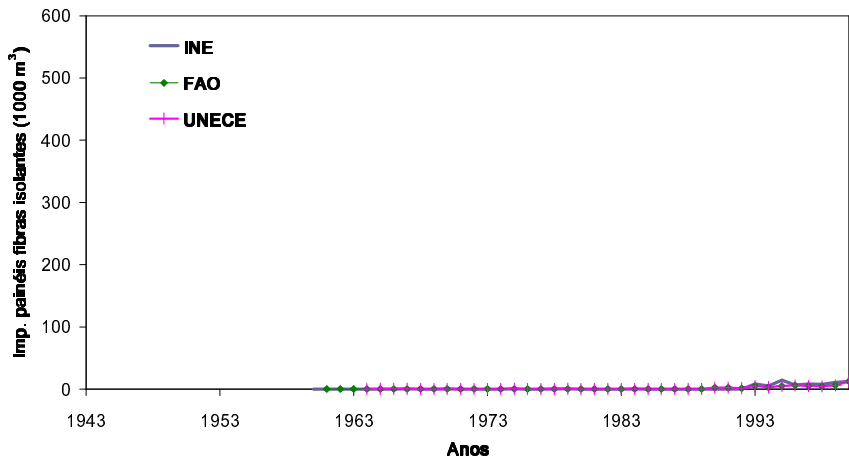


Figura J.55 - Importação de painéis de fibras isolantes.

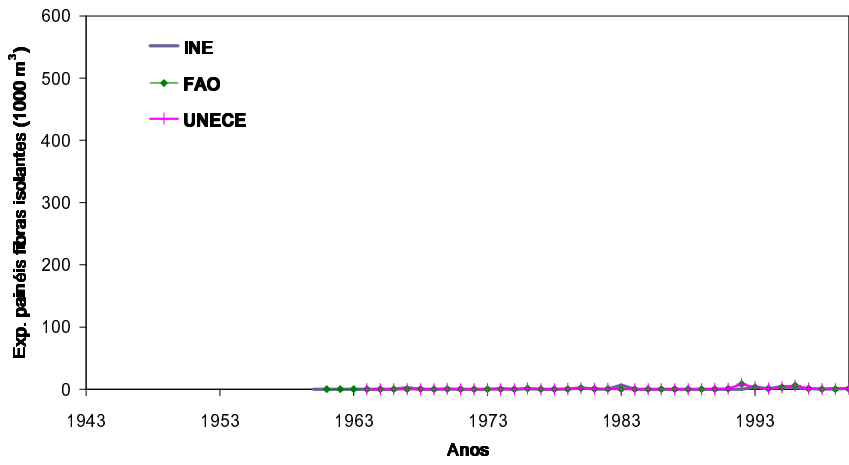
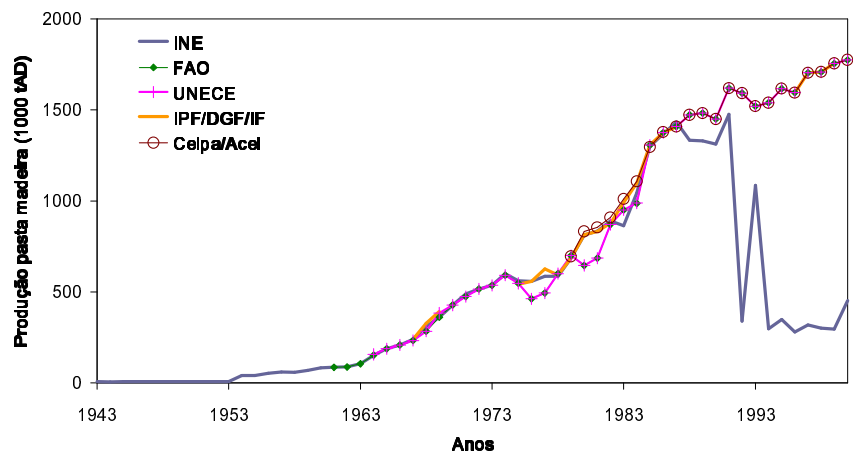
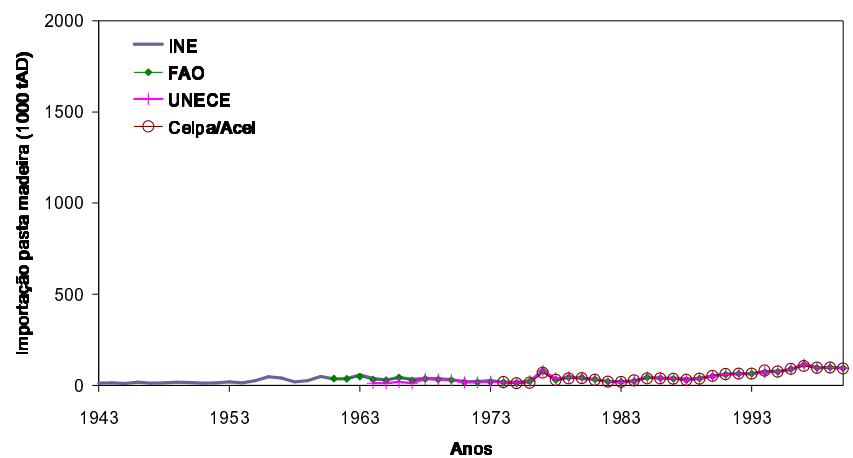


Figura J.56 - Exportação de painéis de fibras isolantes.

Tabela J.13 - Fontes dos "melhores" dados disponíveis para os painéis de fibras isolantes.

Fluxo	Período	Fonte dos "melhores" dados	Comentários
Produção	1943-1960	Não disponível	De 1961 a 1963 apenas a FAO disponibiliza dados. A partir de 1964 os dados da FAO são iguais aos da UNECE.
	1961-2000	FAO	
Importação	1943-1959	Não disponível	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
	1960-2000	INE	
Exportação	1943-1959	Não disponível	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
	1960-2000	INE	

J.6. Pasta de madeira**Figura J.57 - Produção de pasta de madeira.****Figura J.58 - Importação de pasta de madeira.**

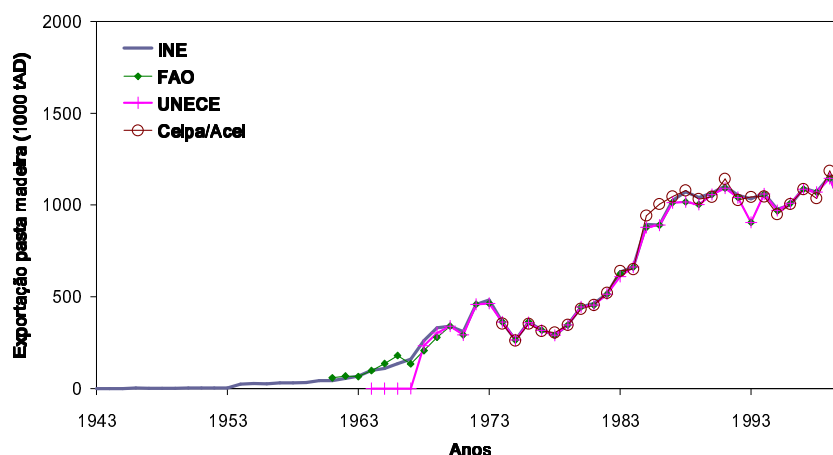


Figura J.59 - Exportação de pasta de madeira.

Tabela J.14 - Fontes dos "melhores" dados disponíveis para a pasta de madeira.

Fluxo	Período	Fonte dos "melhores" dados	Comentários
Produção	1943-1978	INE	De 1943 a 1978 os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes. A partir de 1979, foram escolhidos os dados da Celpa/Acel pois os dados do INE passam a integrar valores confidenciais.
	1979-2000	Celpa/Acel	
Importação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
Exportação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.

J.7. Outra pasta

J.7.1. Pasta de outras fibras

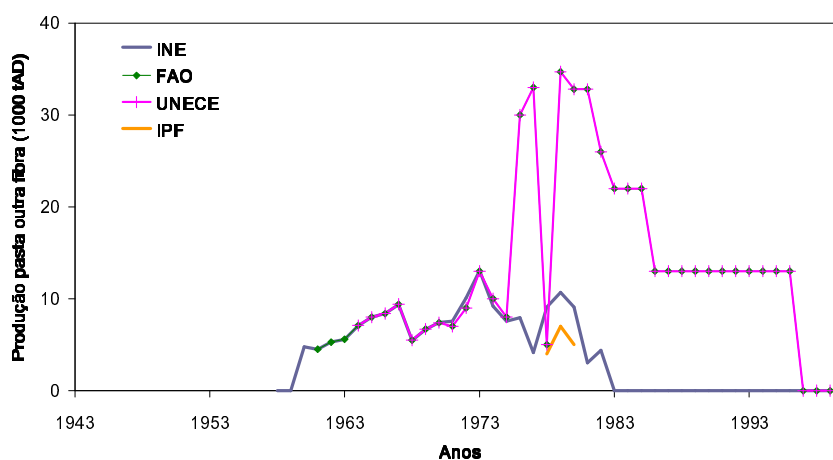


Figura J.60 - Produção de pasta de outras fibras.

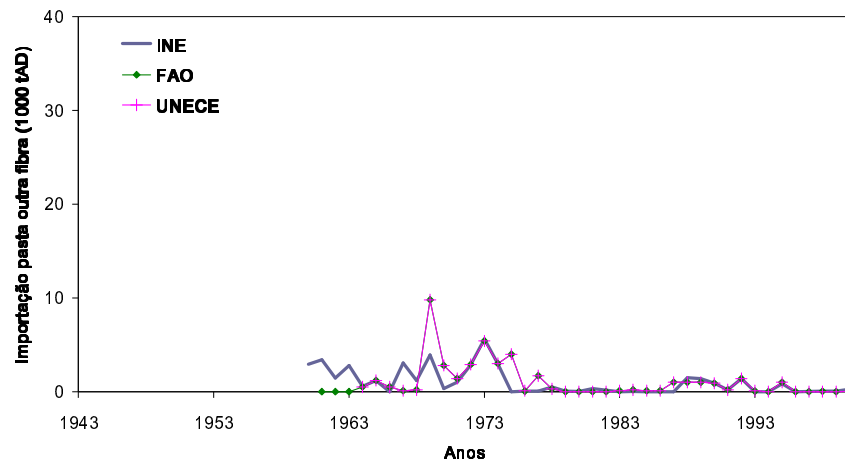


Figura J.61 - Importação de pasta de outras fibras.

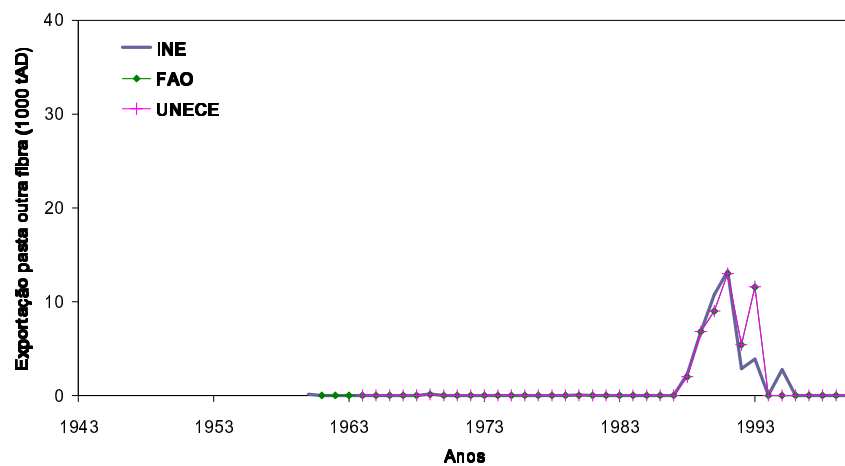


Figura J.62 - Exportação de pasta de outras fibras.

Tabela J.15 - Fontes dos “melhores” dados disponíveis para a pasta de outras fibras.

Fluxo	Período	Fonte dos “melhores” dados	Comentários
Produção	1943-1957	Não disponível	De 1958 a 1982 os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes. A partir de 1983 foram escolhidos os dados da FAO (iguais aos da UNECE), apesar de serem estimados na maior parte do período, pois os dados do INE passam a integrar valores confidenciais.
	1958-1982	INE	
	1983-2000	FAO	
Importação	1943-1959	Não disponível	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
	1960-2000	INE	
Exportação	1943-1959	Não disponível	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
	1960-2000	INE	

J.7.2. Pasta de fibra recuperada

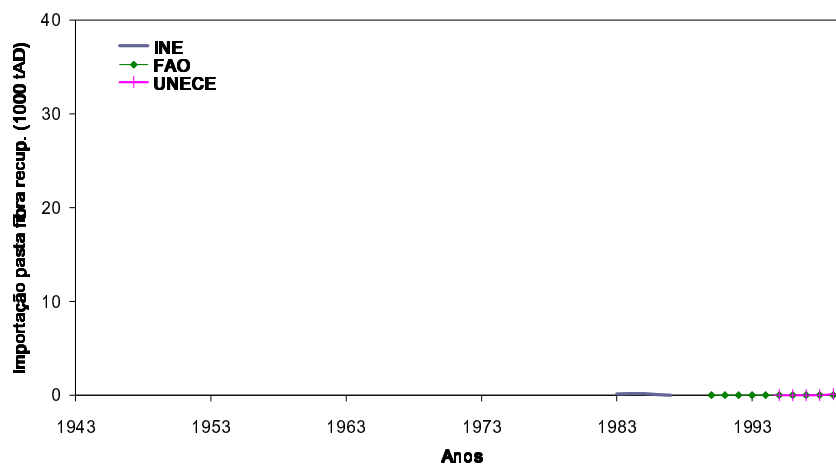


Figura J.63 - Importação de pasta de fibra recuperada.

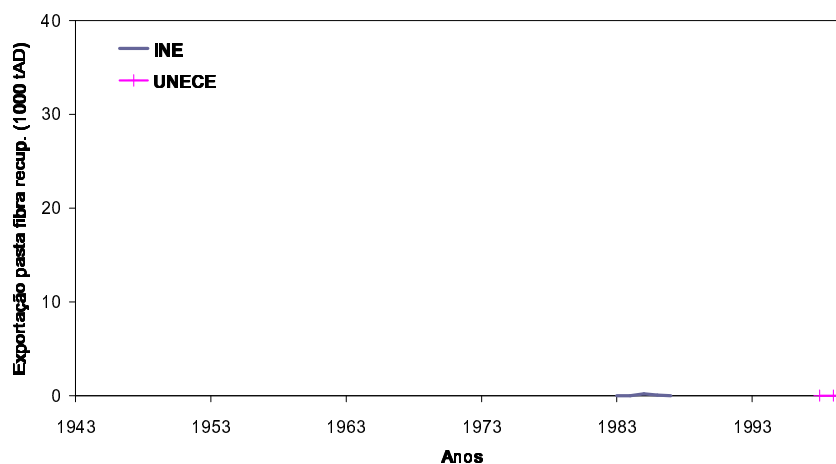


Figura J.64 - Exportação de pasta de fibra recuperada.

Tabela J.16 - Fontes dos "melhores" dados disponíveis para a pasta de fibra recuperada.

Fluxo	Período	Fonte dos "melhores" dados	Comentários
Importação	1943-1982;	Não disponível	São os únicos dados disponíveis (a partir de 1995 os dados da UNECE são iguais aos da FAO).
	1988-1989	INE	
	1983-1987	FAO	
	1990-2000	FAO	
Exportação	1943-1982;	Não disponível	São os únicos dados disponíveis.
	1988-1997	INE	
	1983-1987	INE	
	1998-2000	UNECE	

J.8. Papel recuperado

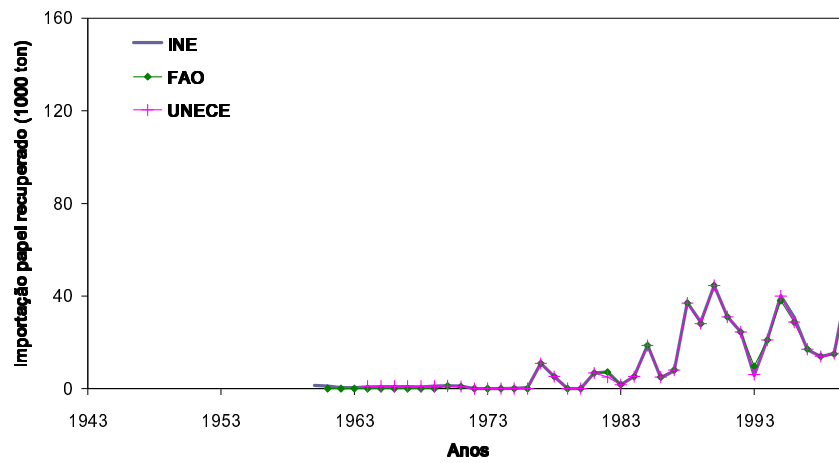


Figura J.65 - Importação de papel recuperado.

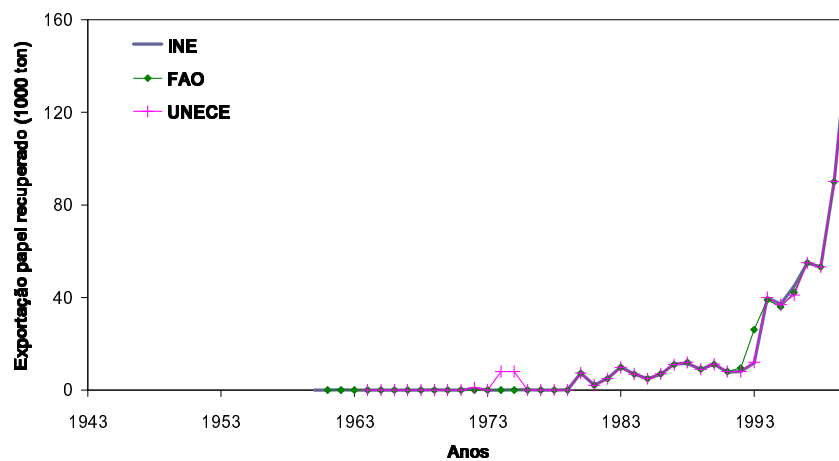


Figura J.66 - Exportação de papel recuperado.

Tabela J.17 - Fontes dos "melhores" dados disponíveis para o papel recuperado.

Fluxo	Período	Fonte dos "melhores" dados	Comentários
Importação	1943-1959	Não disponível	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
	1960-2000	INE	
Exportação	1943-1959	Não disponível	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
	1960-2000	INE	

J.9. Papel e cartão

J.9.1. Papel de jornal

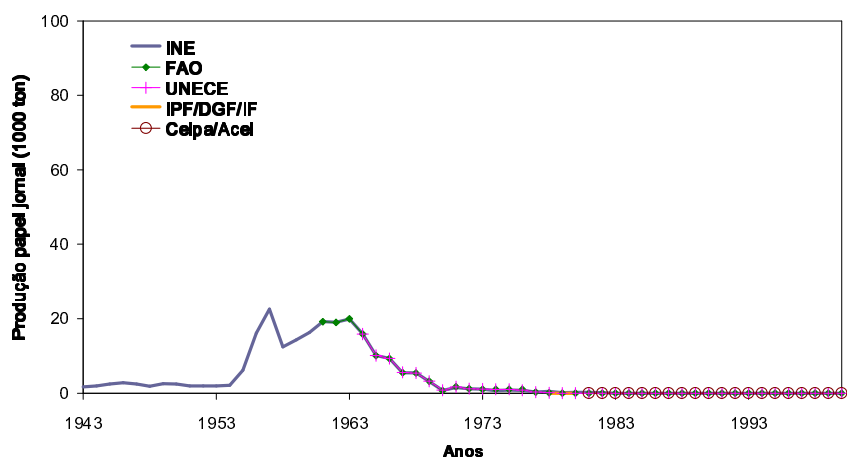


Figura J.67 - Produção de papel de jornal.

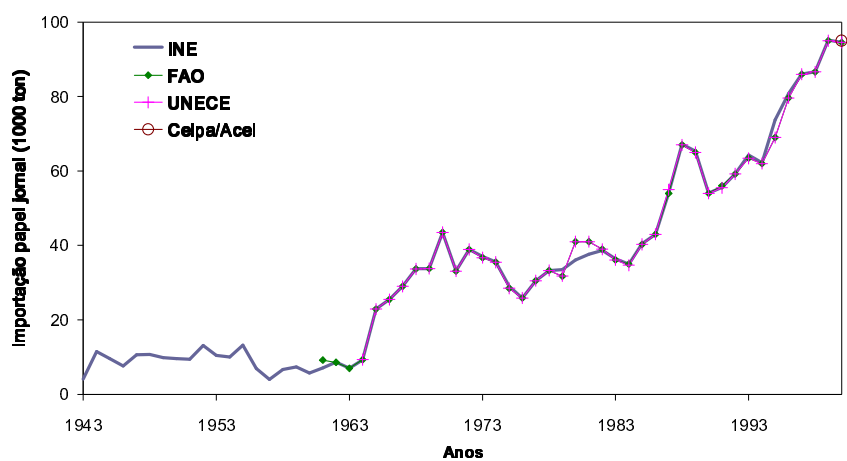


Figura J.68 - Importação de papel de jornal.

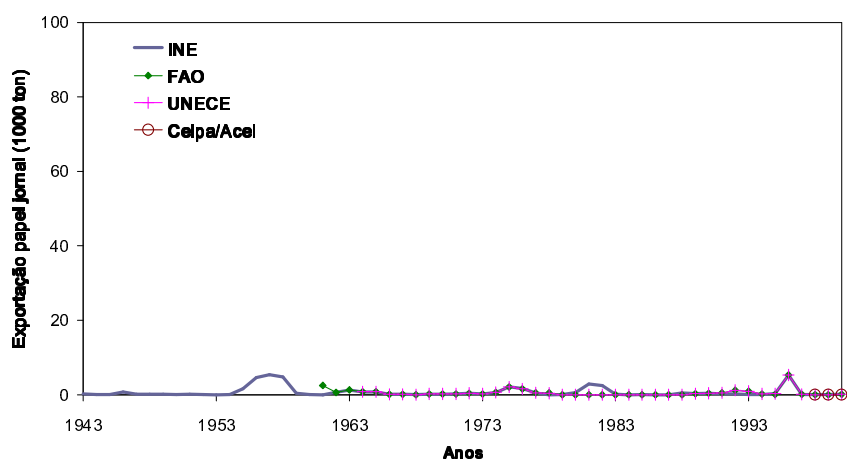


Figura J.69 - Exportação de papel de jornal.

Tabela J.18 - Fontes dos "melhores" dados disponíveis para o papel de jornal.

Fluxo	Período	Fonte dos "melhores" dados	Comentários
Produção	1943-2000	INE	Os dados do INE são iguais aos das restantes fontes.
Importação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
Exportação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.

J.9.2. Papel de impressão e escrita

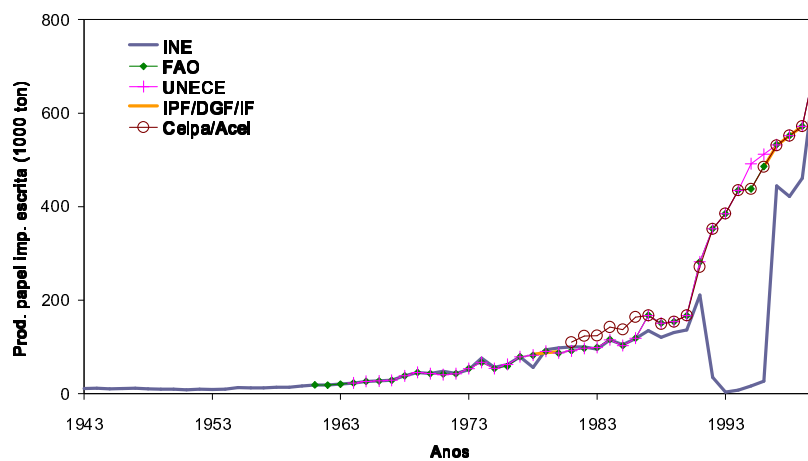


Figura J.70 - Produção de papel de impressão e escrita.

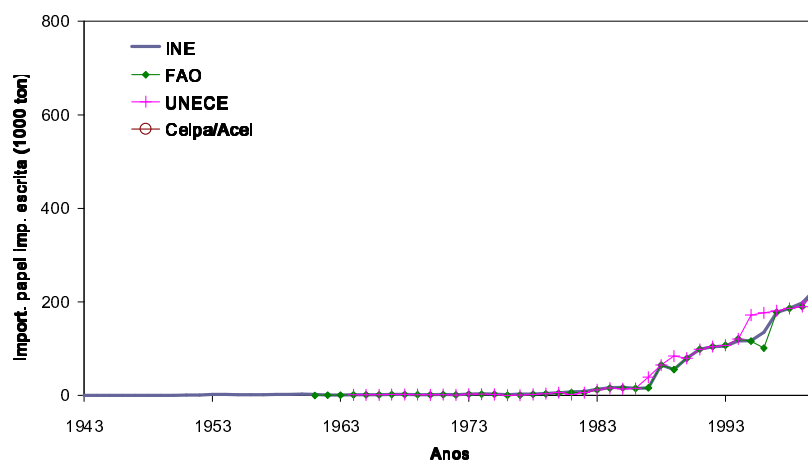


Figura J.71 - Importação de papel de impressão e escrita.

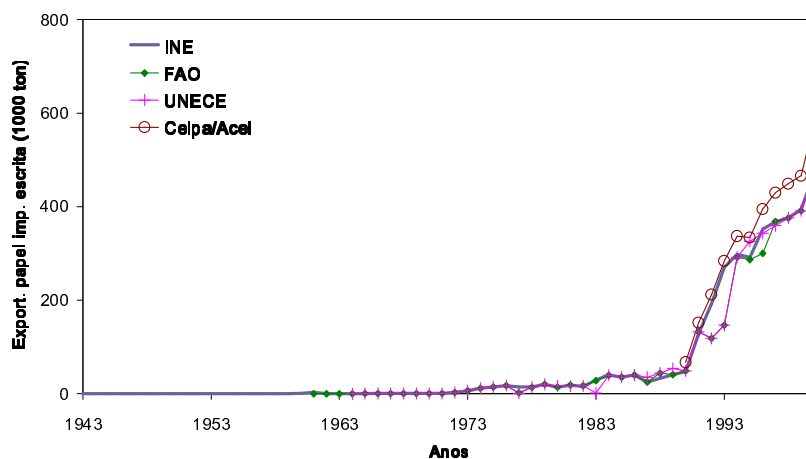


Figura J.72 - Exportação de papel de impressão e escrita.

Tabela J.19 - Fontes dos "melhores" dados disponíveis para o papel de impressão e escrita.

Fluxo	Período	Fonte dos "melhores" dados	Comentários
Produção	1943-1977	INE	De 1943 a 1960 os dados do INE são os únicos disponíveis e de 1961 a 1977 são semelhantes aos da FAO e UNECE. Para 1978 foram adoptados os dados do IPF/DGF/IF já que, segundo Melo e Pastor (1982a), "a cobertura do inquérito efectuado pelo INE ao sector papelero, foi significativamente inferior ao do IPF nesse mesmo ano, organismo que apresentava já níveis de cobertura próximos da totalidade das unidades fabris inventariadas". De 1979 a 1982 foram usados os dados do INE, por serem mais transparentes que os dados das outras fontes. A partir de 1983, foram escolhidos os dados da Celpa/Acel pois os dados do INE passam a integrar valores confidenciais.
	1978	IPF/DGF/IF	
	1979-1982	INE	
	1983-2000	Celpa/Acel	
Importação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
Exportação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.

J.9.3. Outro papel e cartão

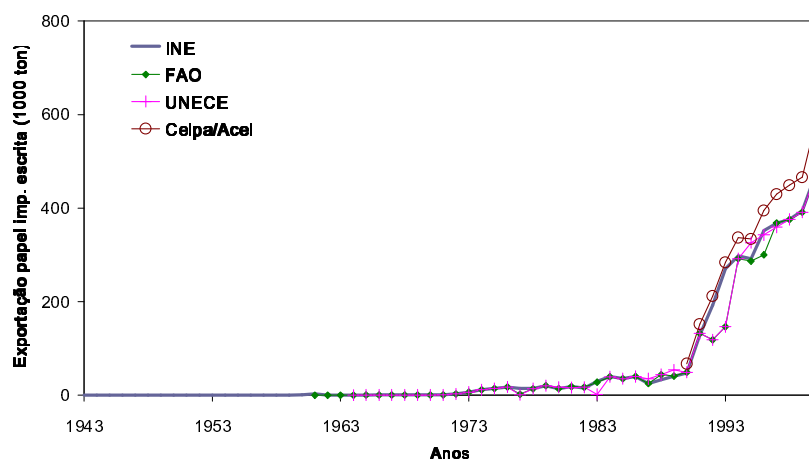


Figura J.73 - Produção de outro papel e cartão.

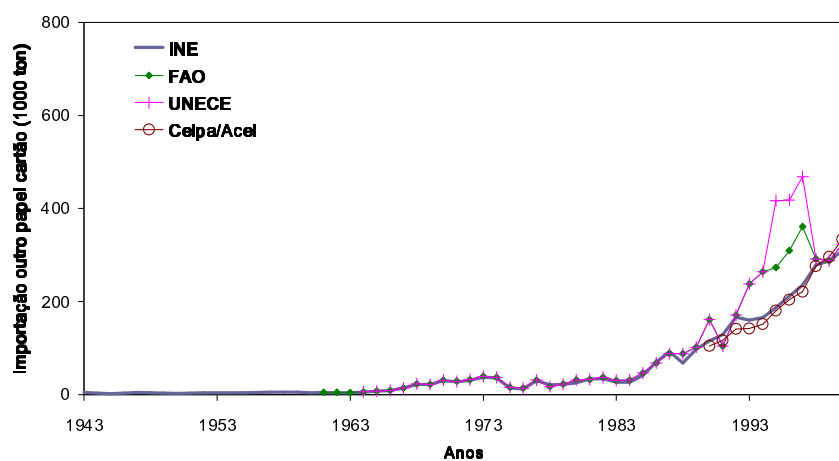


Figura J.74 - Importação de outro papel e cartão.

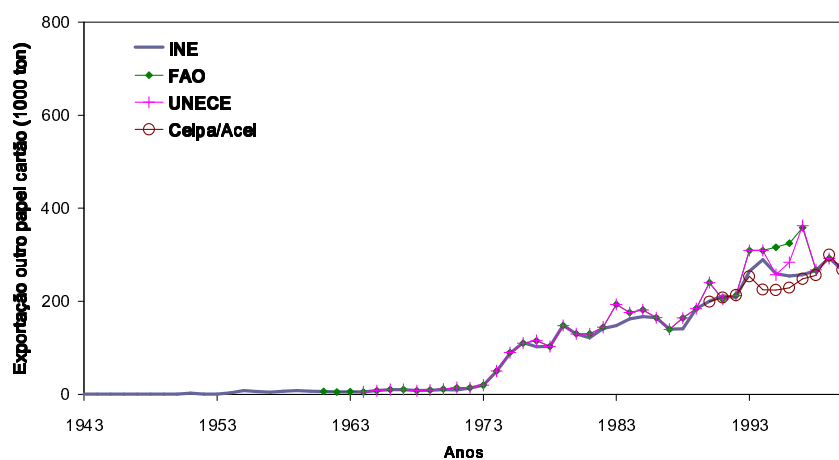


Figura J.75 - Exportação de outro papel e cartão.

Tabela J.20 - Fontes dos "melhores" dados disponíveis para o outro papel e cartão.

Fluxo	Período	Fonte dos "melhores" dados	Comentários
Produção	1943-1982	INE	De 1943 a 1960 os dados do INE são os únicos disponíveis e de 1961 a 1982 são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes. A partir de 1983, foram escolhidos os dados da Celpa/Acel pois os dados do INE passam a integrar valores confidenciais.
	1983-2000	Celpa/Acel	
Importação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.
Exportação	1943-2000	INE	Os dados do INE são completos, consistentes e mais transparentes que os dados das restantes fontes.

Anexo L

**Resultados obtidos com os métodos de Winjum *et al.* (1998),
de 2º nível do GPG LULUCF e de 3º nível do GPG LULUCF,
para o período de 1900 a 2000**

Método de Winjum *et al.* (1998)

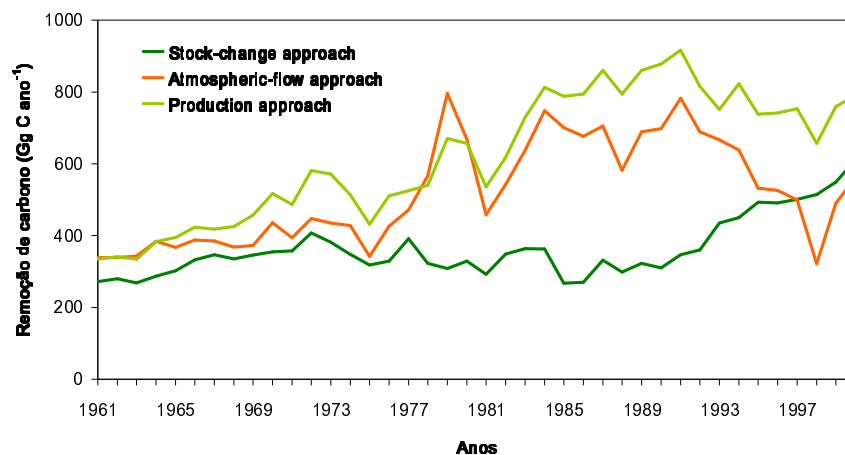


Figura L.1 - Remoção de carbono em Portugal no período 1961-2000, obtida com o método de Winjum *et al.* (1998), segundo a *stock-change approach*, a *atmospheric-flow approach* e a *production approach*.

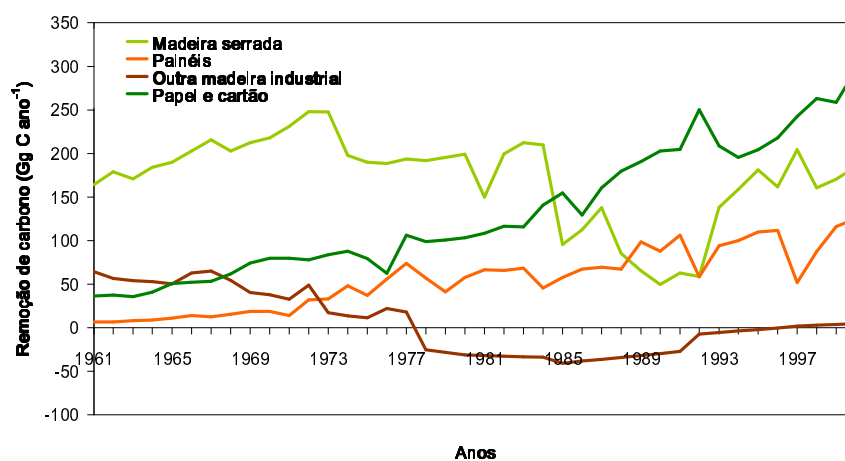


Figura L.2 - Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, obtida com o método de Winjum *et al.* (1998), segundo a *stock-change approach*.

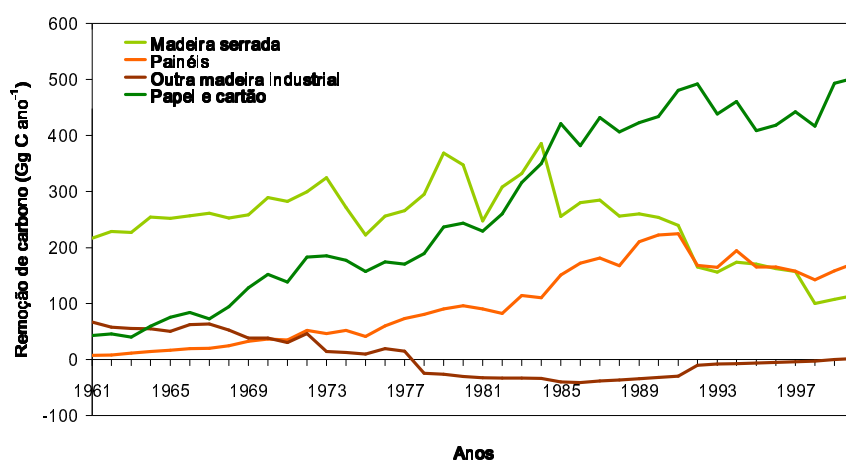


Figura L.3 - Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, obtida com o método de Winjum *et al.* (1998), segundo a *production approach*.

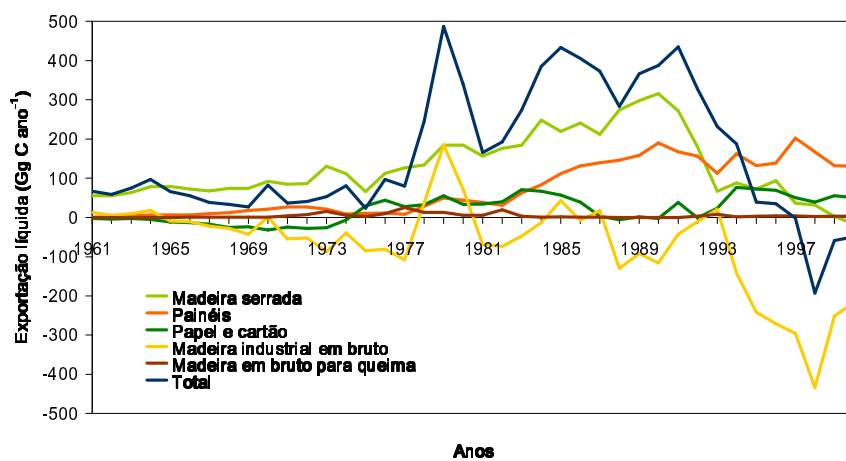


Figura L.4 - Exportação líquida de produtos florestais e de madeira em bruto considerada no método de Winjum *et al.* (1998), na *atmospheric-flow approach*.

Método de 2º nível do GPG LULUCF

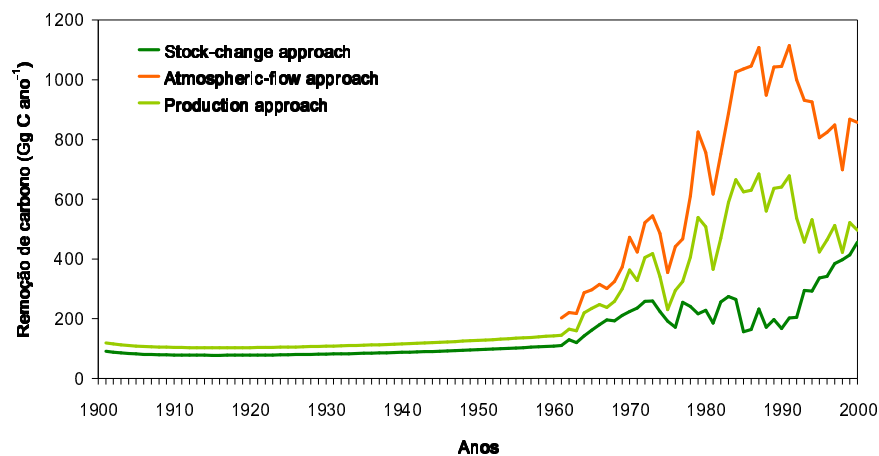


Figura L.5 - Remoção de carbono em Portugal no período 1900-2000, obtida com o método de 2º nível do GPG LULUCF, segundo a *stock-change approach*, a *atmospheric-flow approach* e a *production approach*.

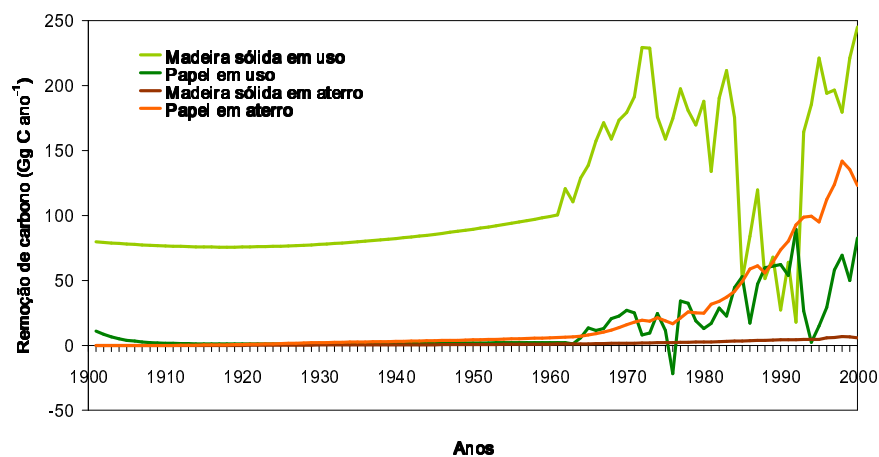


Figura L.6 - Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, obtida com o método de 2º nível do GPG LULUCF, segundo a *stock-change approach*.

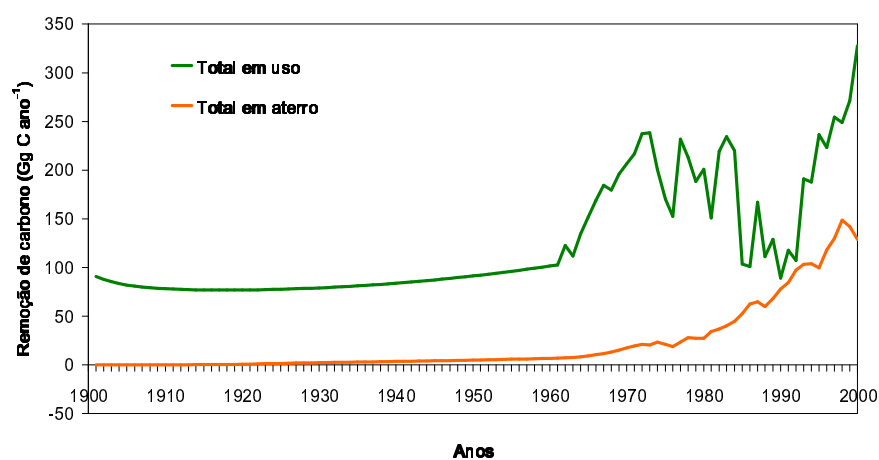


Figura L.7 - Contribuição dos produtos em uso e em aterro para a remoção de carbono, obtida com o método de 2º nível do GPG LULUCF, segundo a *stock-change approach*.

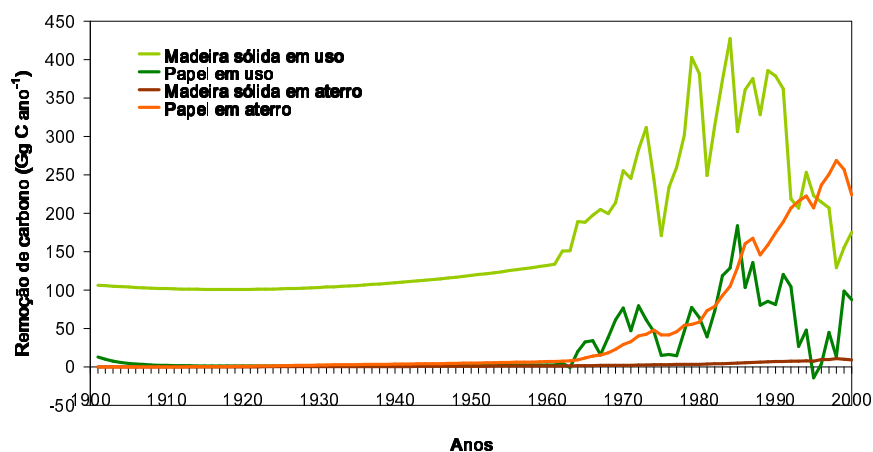


Figura L.8 - Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, obtida com o método de 2º nível do GPG LULUCF, segundo a *production approach*.

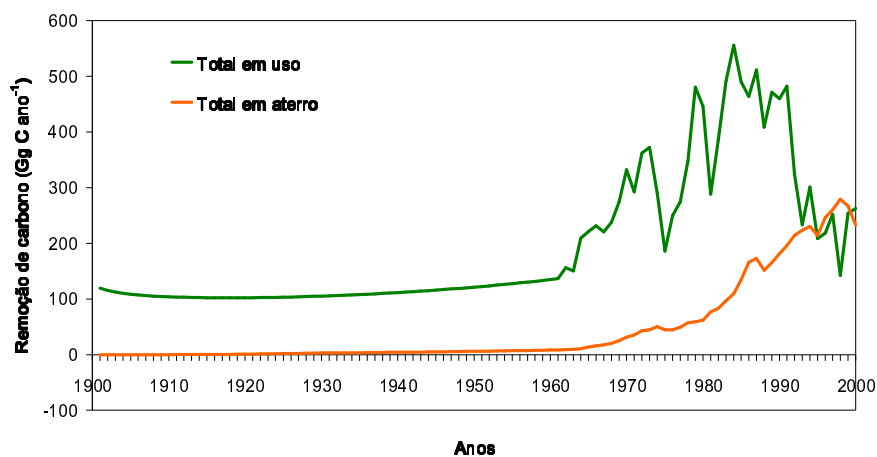


Figura L.9 - Contribuição dos produtos em uso e em aterro para a remoção de carbono, obtida com o método de 2º nível do GPG LULUCF, segundo a *production approach*.

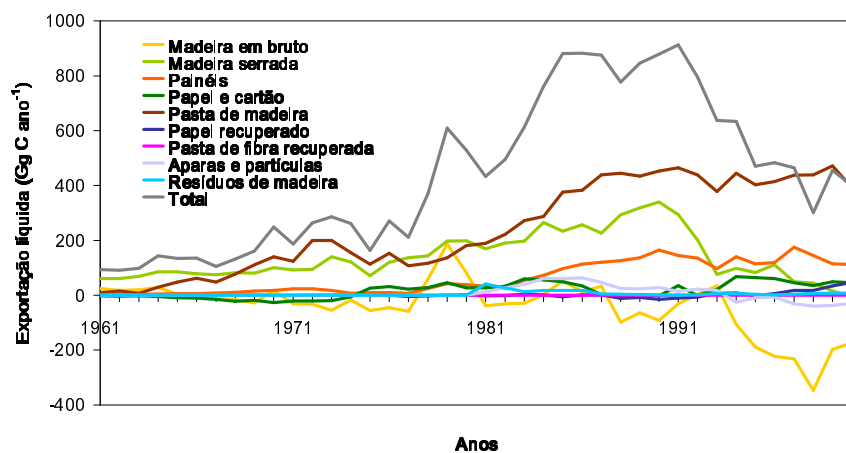


Figura L.10 - Exportação líquida de produtos florestais, de madeira em bruto e de outros materiais produzidos a partir de madeira, considerada no método de 2º nível do GPG LULUCF, na *atmospheric-flow approach*.

Método B de 3º nível do GPG LULUCF

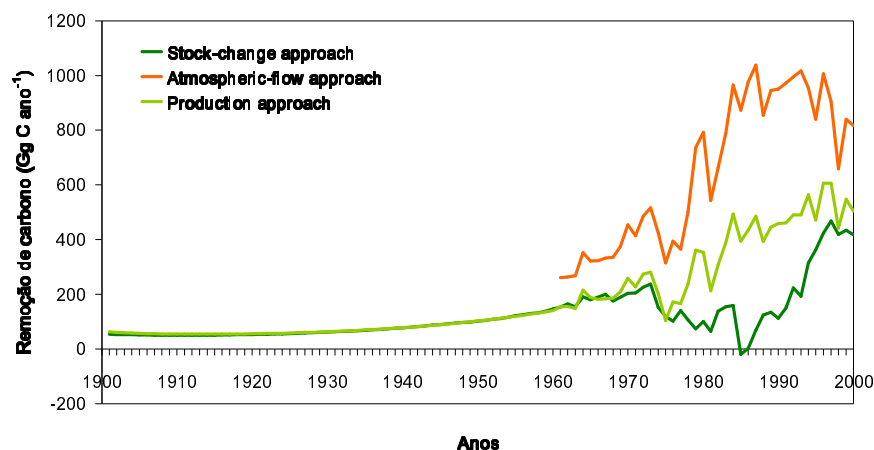


Figura L.11 - Remoção de carbono em Portugal no período 1900-2000, obtida com o método B de 3º nível do GPG LULUCF, segundo a *stock-change approach*, a *atmospheric-flow approach* e a *production approach*.

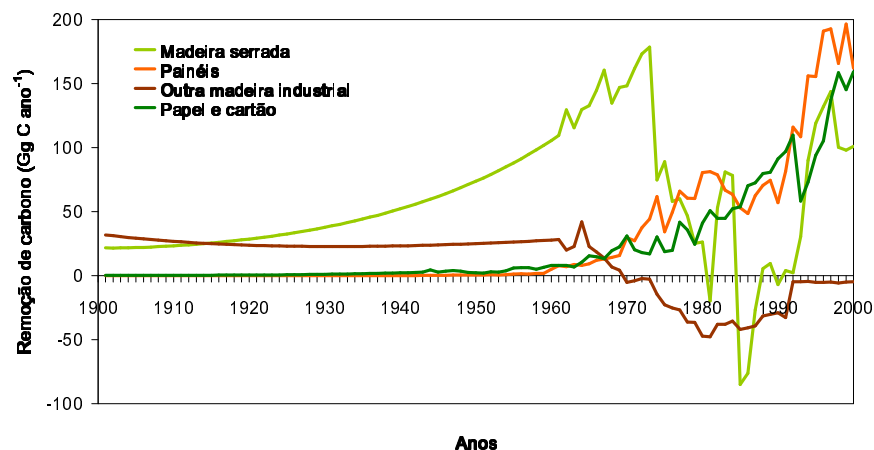


Figura L.12 - Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, obtida com o método B de 3º nível do GPG LULUCF, segundo a *stock-change approach*.

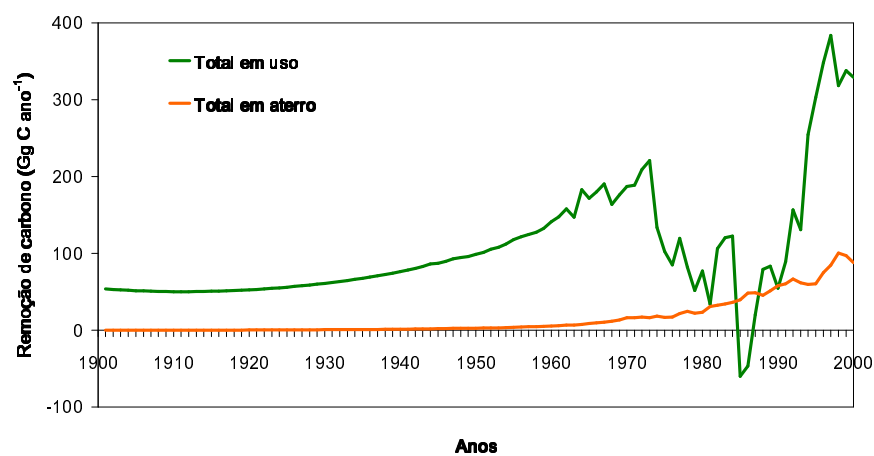


Figura L.13 - Contribuição dos produtos em uso e em aterro para a remoção de carbono, obtida com o método B de 3º nível do GPG LULUCF, segundo a *stock-change approach*.

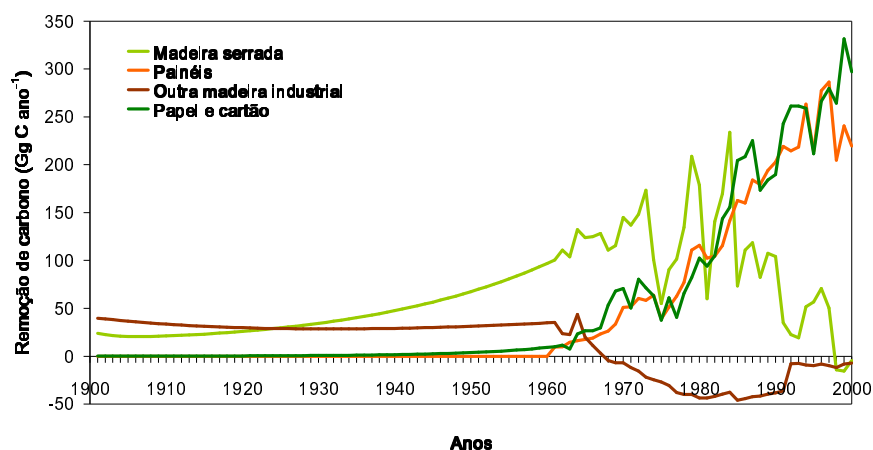


Figura L.14 - Contribuição de cada tipo de produto para a remoção de carbono, obtida com o método B de 3º nível do GPG LULUCF, segundo a *production approach*.

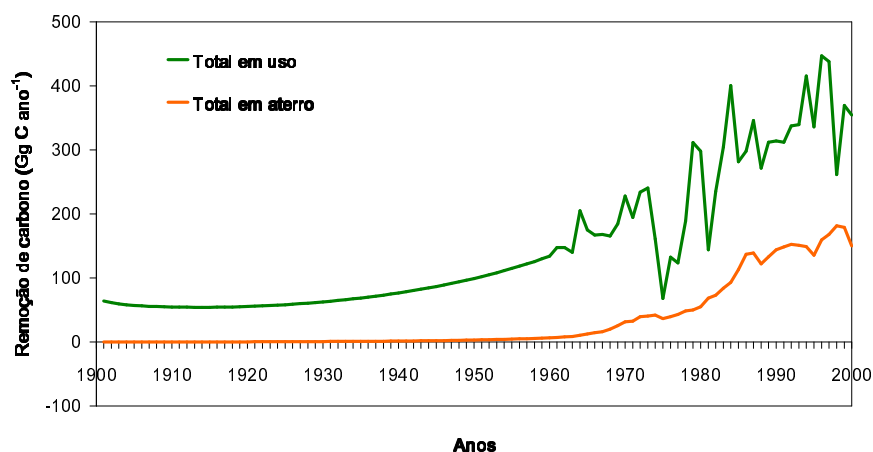


Figura L.15 - Contribuição dos produtos em uso e em aterro para a remoção de carbono, obtida com o método B de 3º nível do GPG LULUCF, segundo a *production approach*.

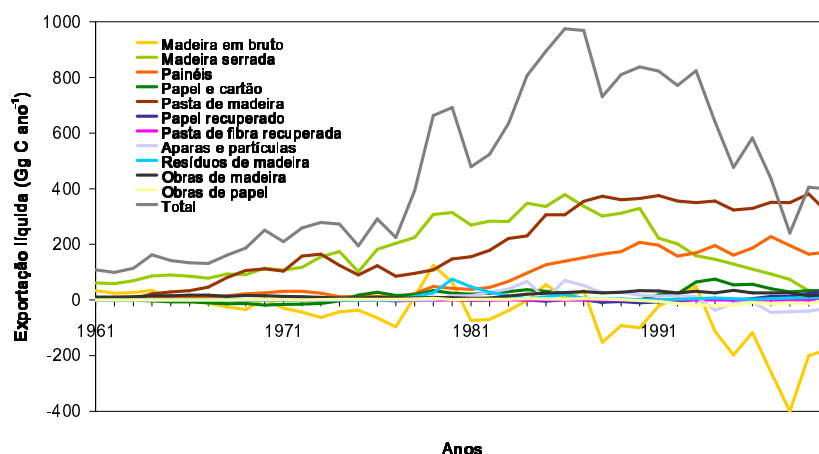


Figura L.16 - Exportação líquida de produtos florestais, de madeira em bruto e de outros materiais produzidos a partir de madeira, considerada no método B de 3º nível do GPG LULUCF, na *atmospheric-flow approach*.